



PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA III

INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE INFORME DEL AÑO 2020

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13226	2020	ENVIROMENTAL ENGINEERING SCIENCE INTERNATIONAL	04-06-2021



MINERA PANAMÁ

MONITOREO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE EN MINERA PANAMÁ INFORME FINAL AÑO 2020



EES ENVIRONMENTAL
ENGINEERING
SCIENCE
INTERNATIONAL

OFICINA Y LABORATORIO
Ancón. Avda. Morgan Dúplex 301 A. Ciudad de Panamá. República de Panamá

PRESENTACIÓN

La empresa MINERA PANAMÁ ha encargado a la consultora ambiental independiente EES INTERNATIONAL, SA, el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce en el año 2020.

Rev. N°	Motivo modificación	Aprobado por	Fecha Entrega
1	Edición original	Dr Fernando Mariño	04-06-2021

AMBITO DE LA INSPECCION: REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO: AGUAS NATURALES SUPERFICIALES.

CONDICIONES GENERALES: EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME DE INSPECCION SE HA AJUSTADO A LO ESTABLECIDO EN LAS NORMA ISO/IEC 17020 Y/O ISO 9001. LOS ANALISIS LOS HAN REALIZADO LABORATORIOS ACREDITADOS POR LA NORMA INTERNACIONAL UNE/EN/ISO 17025.

LA INSPECCION Y MUESTREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SGC DE EES INTERNATIONAL, SA, CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS IN SITU INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DEL EQUIPO.

- 1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene EES INTERNATIONAL, SA y MINERA PANAMÁ.
- 2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
- 3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa de MINERA PANAMÁ.

LOS RESULTADOS DEL PRESENTE INFORME SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO.

DESIGNACION DEL DOCUMENTO: ESTUDIO SISTEMAS ACUATICOS 2020 INFORME FINAL 040621

IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO: 040621

AUTORÍA DEL DOCUMENTO: TODOS LOS TEXTOS, FOTOS, FIGURAS, GRÁFICOS, ETC INCLUIDOS EN EL PRESENTE INFORME HAN SIDO ELABORADOS POR EL EQUIPO TÉCNICO DE EES INTERNATIONAL, SA, SIENDO EL RESPONSABLE ÚLTIMO DE SU ALCANCE Y CONTENIDO EL DIRECTOR TÉCNICO DE EES INTERNATIONAL, SA. EES INTERNATIONAL, SA ESTÁ A DISPOSICIÓN DEL QUE LO SOLICITE PARA AMPLIAR O ACLARAR CUALQUIER ASPECTO RELACIONADO CON EL INFORME, ASÍ COMO LA ENTREGA DE ESTOS DOCUMENTOS EN FORMATO ORIGINAL BAJO LA AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MINERA PANAMÁ.

ÍNDICE

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2.	<u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA</u>	3
3.	<u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u>	4
3.1.	Actividades realizadas	4
3.2.	Sitios de muestreo.....	5
3.3.	Metodología de estudio de parámetros y variables físico-químicas	9
3.4.	Metodología de estudio de elementos biológicos	13
3.5.	Metodología estudio elementos hidromorfológicos y arraigo	19
4.	<u>RESULTADOS</u>	20
4.1.	Elementos físico-químicos	20
4.2.	Elementos biológicos.....	30
4.3.	Elementos hidromorfológicos y arraigo.....	45
5.	<u>ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES</u>	48
6.	<u>ESTADO ECOLÓGICO</u>	55
6.1.	Justificación.....	55
6.2.	Índices de calidad del agua. Metodología y resultados	55
6.3.	Valoración del estado ecológico	63
7.	<u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	67

ANEXO 1. FICHAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

ANEXO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES

ANEXO 3. LISTADO FOTOGRÁFICO DE ESPECIES DE MACROINVERTEBRADOS

ANEXO 4. INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS DE AGUA, SEDIMENTOS Y BIOTA

1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excavará y procesará mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13,000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, la construcción de instalaciones portuarias, que permitirán la carga de concentrado y la descarga del carbón, asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica.



Plano 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos Del Medio ambiente acuático y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe Final se describen la metodología y resultados obtenidos en el monitoreo completado en el año 2020 en los ríos Caimito, Rinconcito, Botija y San Juan en los días 16 al 20 de octubre de 2021, así como los resultados del monitoreo el 27 de marzo de 2021 en los ríos Hoja y Petaquilla, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012¹.

¹ El evento en abril de 2012 se hizo antes de cualquier actividad significativa en el sitio, por lo que sirve como monitoreo "antes de la obra" o condiciones de referencia (blanco).

Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de macroinvertebrados, diatomeas bentónicas o perifiton y peces), muestreos hidromorfológicos (hábitat fluvial, vegetación de ribera y mediciones de arraigo²) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces y camarones).
- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico del ecosistema acuático a lo largo del período de actividad de la mina.
- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los resultados iniciales del año 2012 y estudios completados en los últimos monitoreos.
- Continuando con los trabajos iniciados en el año 2016, estudio del estado ecológico de los ecosistemas fluviales, teniendo en cuenta la valoración del estado de calidad de cada uno de los elementos de calidad e indicadores físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos obtenidos en el año 2020.



Diferentes momentos de los trabajos realizados para el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce durante el año 2020.

² El arraigo se refiere al grado en que los elementos más grandes del sustrato en una corriente o río (piedras, grava) están cubiertos por sedimentos más finos.

2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir los compromisos del EsIA.
- Asegurar que el diseño ambiental y controles implementados sean efectivos para la protección de los ecosistemas acuáticos.
- Desarrollar un programa de monitoreo que permita la evaluación de las tendencias a largo plazo.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en MINERA PANAMÁ, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades de la mina.

Continuando con los trabajos iniciados en el año 2016, y como objetivo complementario, se persigue la valoración del “estado ecológico” de cada uno de los sitios de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:

- Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua, sedimentos y biota.
- Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
- Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).

Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el “Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y del medio marino de la Bahía de Panamá” del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).

El estado ecológico de cada uno de los sitios de muestreo se ha clasificado dentro de las cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores e índices físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos: muy bueno, bueno, aceptable, deficiente y malo.

3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

3.1. Actividades realizadas

Teniendo en cuenta las limitaciones y restricciones impuestas por las pandemias del COVID-19, los monitoreos se han dividido en dos campañas: la primera, completada en los ríos Caimito (dos sitios de monitoreo), Botija (dos sitios de monitoreo) y Rinconcito (un sitio de monitoreo) durante los días 16 al 20 de octubre de 2020; la segunda, en el río Petaquilla (dos sitios de monitoreo) y río Hoja (un sitio de monitoreo), el 27 de marzo de 2021.

De acuerdo con el EEM, cada campaña de muestreo fue diseñada para caracterizar tres tipos de variables o elementos de calidad:

- 1) Elementos físico-químicos.
- 2) Elementos biológicos.
- 3) Elementos hidromorfológicos.

Si bien los elementos físico-químicos han sido los que tradicionalmente se han empleado para el seguimiento de la calidad de las aguas, la información que ofrecen refleja un estado puntual de las condiciones del elemento agua. Por ello, esta información se ha complementado con la aportada por elementos biológicos e hidromorfológicos, que aportan una visión integrada e integradora del estado ecológico de las masas superficiales a medio y largo plazo.

Los parámetros que se han analizado dentro del grupo de elementos físico-químicos incluyeron medidas in situ de parámetros físico-químicos, toma de muestras y análisis de parámetros generales de calidad en agua y análisis de metales pesados en agua, sedimentos y biota (peces y camarones).

Dentro de los elementos de calidad biológica se han tomado muestras y estudiado en el laboratorio los macroinvertebrados bentónicos, según procedimientos estándares internacionales y recomendaciones del Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). Igualmente, se han incluido el estudio de las diatomeas bentónicas o perifiton y las comunidades de peces. En el tercer grupo –elementos hidromorfológicos– se han obtenido las variables del hábitat físico fluvial que se requiere para la determinación de los índices de calidad hidromorfológicos. Asimismo, se continúa en este trabajo con el estudio de arraigo para la evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat.

Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.

- Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.
- Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.

- Para el contenido de metales en peces y camarones, se han empleado diferentes valores de referencia recogidos en normativas internacionales y que ha sido elaborado por expertos de MINERA PANAMÁ.

Para los indicadores biológicos (macroinvertebrados), se han utilizado las clases de calidad de macroinvertebrados propuesto por el ICGES para el índice BMWP/PAN (propio de Panamá), el índice de calidad de diatomeas bentónicas (IPS) y un índice para las comunidades de peces basado en diferentes atributos y características estructurales y fisiológicas (índice IBI).

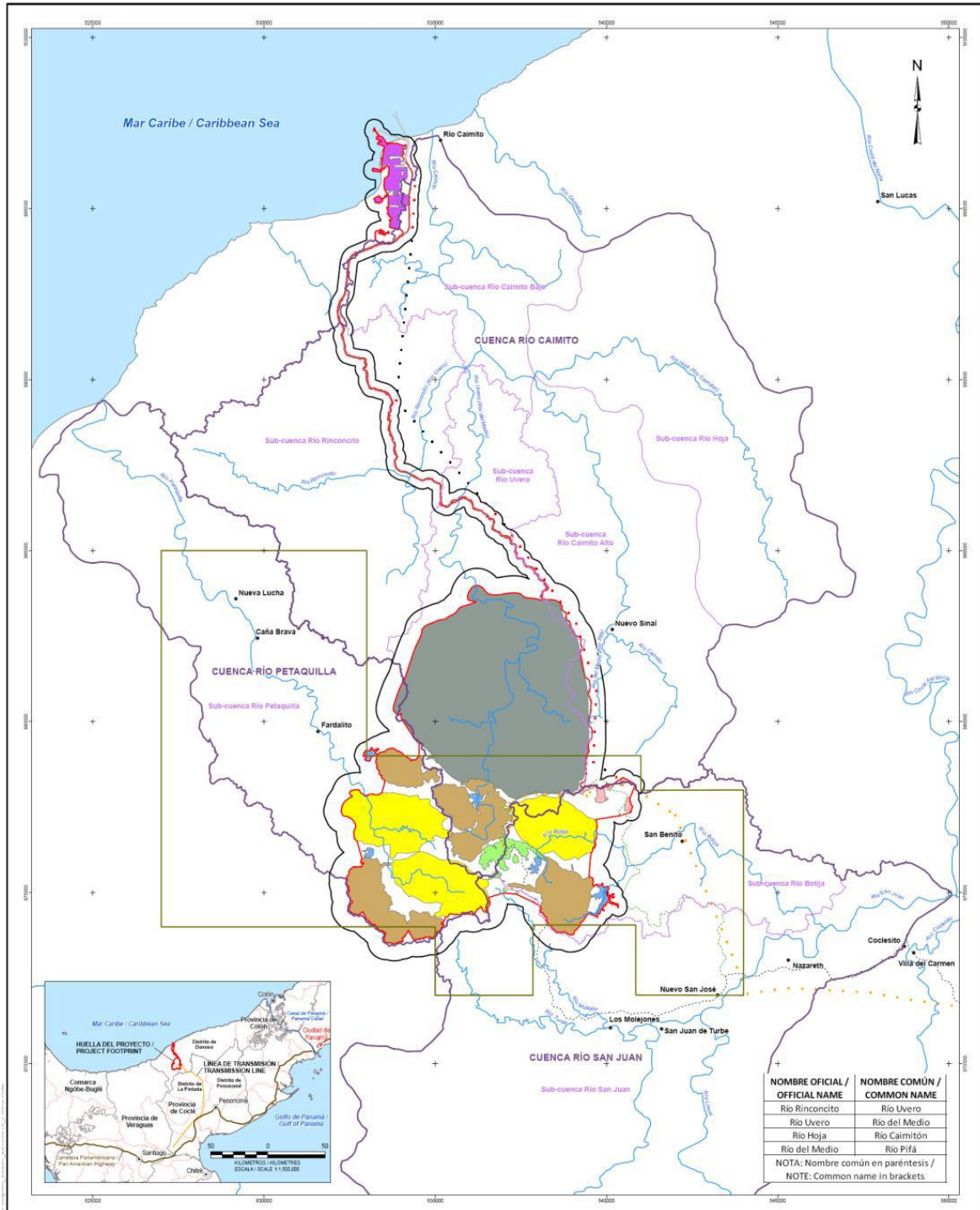
Por su parte, para evaluar la calidad hidromorfológica se han empleado los valores de clases de calidad para los índices hidromorfológicos (índices QBR-PAN e IHF-PAN) adaptados recientemente a las aguas de Panamá.

Asimismo, con el fin de tener una visión global y sintética de las condiciones ambientales de los medios acuáticos que incluyera los tres elementos estudiados (físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos), se ha determinado el estado ecológico de las masas de agua continentales siguiendo los criterios de la Directiva Marco del Agua (DMA) en la Unión Europea, adaptadas al caso de las aguas en Panamá.

3.2. Sitios de muestreo

El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto. Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto (**Figura 2**) que incluyen:

- Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio o Uvero (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, que reciben las aguas de descarga de relaves.
- Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, que recibe las descargas, y más alejado el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.
- Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano que recibe descargas de los tajos Colina y Valle Grande y minería ilegal (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla).
- Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no afectados por las actividades del proyecto.



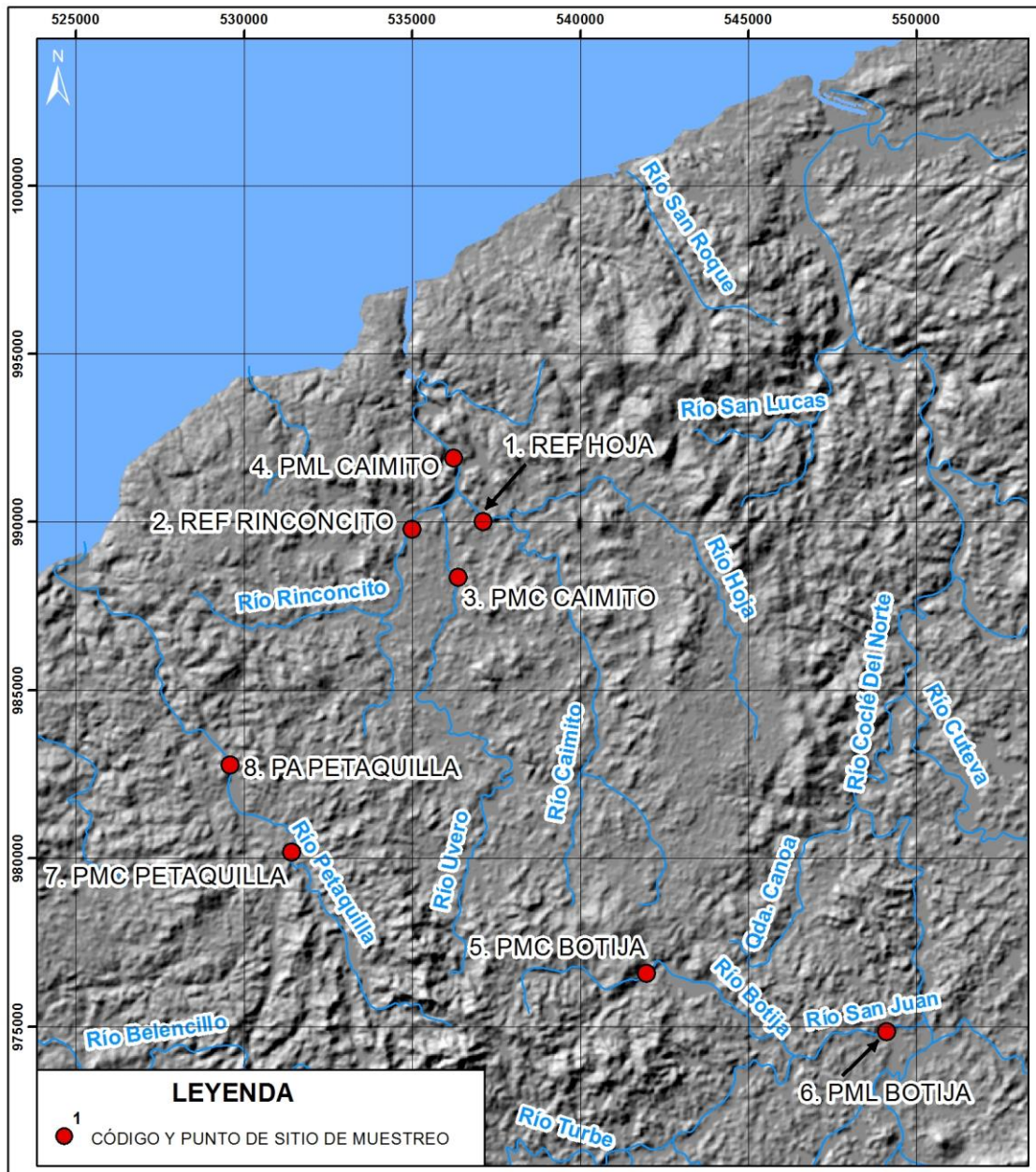
Plano 2. Ubicación de las subcuencas afectadas por las actividades del proyecto (minas a cielo abierto de color amarillo, áreas de depósito de roca estéril de color chocolate y área de gestión de relaves de color gris).

En la propuesta del año 2012, se plantearon siete (7) sitios de muestreo, que para el presente monitoreo de 2020 –al igual que se hizo en los años 2016, 2017, 2018 y 2019- se han ampliado a ocho (8) sitios, incluyendo un (1) punto adicional en el río Petaquilla (PML-Petaquilla) aguas abajo del punto inicialmente establecido, que se sigue manteniendo (PMC-Petaquilla).

En el el **Cuadro 1** se indican las principales características de los sitios de monitoreo y en el **Anexo 1** se recoge una FICHA DESCRIPTIVA para cada uno.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO					
CÓDIGO SITIO MONITOREO	RÍO	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN Y CÓDIGO CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS
			ESTE	NORTE	
REF-Hoja	Río Hoja	Referencia	537121	990012	Ubicado sobre el brazo principal
REF-Rinconcito	Río Rinconcito	Referencia	535002	989768	Ubicado sobre un pequeño tributario.
PMC-Caimito	Ríos Del Medio y Caimito	Punto de Muestreo Cercano	536373	988352	Sobre río Del Medio o Uvero, aguas abajo de la descarga de los relaves.
PML-Caimito		Punto de Muestreo Lejano	536244	991898	Ubicado sobre el cauce del río Caimito.
PMC-Botija	Ríos Botija y San Juan	Punto de Muestreo Cercano	541972	976567	Sobre el río Botija, aguas abajo del tajo, en San Benito.
PML-Botija		Punto de Muestreo Lejano	549121	974840	Sobre el río San Juan de Turbe, más alejado del tajo.
PMC-Petaquilla	Río Petaquilla	Punto de Muestreo Cercano	531420	980178	Sobre el cauce del río Petaquilla, en campamento Lata, aguas abajo de los tajos Colina y Valle grande.
PML-Petaquilla		Punto de Muestreo Lejano	529595	982766	Ubicado aguas abajo en el río Petaquilla, próximo a un potrero.

En el **Plano 3** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo seguidos en el año 2020. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.



Plano 3. Localización de los sitios de muestreo propuestos sobre MDT en entorno SIG.

El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos el muestreo de elementos biológicos y los otros dos la caracterización físico-química y del hábitat fluvial.

En todo momento se contó con el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración.

3.3. Metodología de estudio de parámetros y variables físico-químicas

Durante la realización de la campaña, y en cada sitio de muestreo, se llevaron a cabo medidas *in situ* con un equipo y sonda multiparamétrica (YSI PROFESSIONAL) de los siguientes parámetros y variables físico-químicos de calidad de aguas:

- Temperatura del agua (°C)
- pH (en unidades pH)
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación)
- Conductividad (μ S/cm referida a 25°C)
- Sólidos totales disueltos (g/L)
- Turbidez (NTU)

El método consistió en la introducción del cable-sonda en el agua en una zona de mezcla y a una profundidad aproximada de 0,20 m. El registro de datos se produjo una vez estabilizados los valores medidos, especialmente el oxígeno disuelto. Después de cada muestreo los electrodos fueron lavados con agua destilada.

La sonda se verificó todas las mañanas antes de comenzar la jornada de campo y al final de la misma, empleando siempre patrones homologados según el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) del laboratorio acreditado. También se evaluó el color aparente del agua mediante interpretación visual directa.

Asimismo, en cada sitio de muestreo se tomaron muestras de agua para analizar los siguientes parámetros y variables físico-químicas en el laboratorio: TSS, DOC, sólidos en suspensión (SS), dureza, alcalinidad, amoníaco, nitrato, nitrógeno Kjeldahl, fósforo total y total de metales pesados. Los metales pesados para los análisis de agua fueron: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn.



Medidas in situ con equipos multiparamétricos de calidad de agua.

Las muestras de agua recogidas se conservaron con conservantes adecuados en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificado y almacenado en nevera refrigerada a 4°C hasta su entrega en el laboratorio. Se han seguido los métodos de conservación para cada parámetro indicados en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods. Los métodos de análisis y límites de cuantificación se incluyen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO Y LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN EN AGUA				
PARAMETRO	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO DE ANÁLISIS	LC*
Fósforo total*	PT	mg/L	Método Estándar HACH 8048	< 0,02
Nitrógeno Amoniacal	NH4	mg/L	Método Estándar 4500 NH3C	< 0,02
Nitratos*	NO3	mg/L	Método Estándar HACH 8039	<0,3
Nitrógeno orgánico	NORG	mg/L	Método Estándar 4500 org	<0,2
Sólidos en suspensión	SS	mg/L	Método Estándar 2540 D	<1
Carbono orgánico disuelto	DOC	mg/L	Método Estándar 5310	<1
Dureza	DUR	mg/L CaCO ₃	Método Estándar 2340	<5
Alcalinidad	ALC	mg/L CaCO ₃	Método Estándar 2320	<10

*Lc: Límite de Cuantificación. * Analizados en menos de 3-4 h del muestreo en el campamento de mina.

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento en los sitios de muestreo para el análisis de los siguientes parámetros: carbono orgánico total (COT) y metales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn.

Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón en las zonas de sedimentación de los cauces de los ríos. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras congeladas hasta su entrega en el laboratorio.

Con el fin de evaluar si las operaciones están desplazando metales se ha llevado a cabo el muestreo y análisis del tejido de peces y macroinvertebrados, a partir de las capturas de ejemplares realizados en los muestreos con pesca eléctrica. Para peces, se recolectaron ejemplares de guabinas (*Gobiomorus dormitor*) y tities³ (*Sycidium altum*) y para camarones ejemplares de *Macrobrachium spp.* Los metales analizados en peces y camarones han sido los siguientes: Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V y Zn.

Las muestras de peces y camarones se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de teflón. En los camarones, los tejidos se extrajeron después de remover las vísceras y las conchas, utilizando un cuchillo limpio de teflón.

Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos para cada una de las especies de peces y de 5 para los camarones. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a -20°C hasta su envío al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron hasta peso constante a 80°C utilizando una estufa, maceradas en un mortero de porcelana y homogenizadas, hasta obtener 2 g de muestra seca.

Posteriormente al secado, las muestras se trituraron con mortero de porcelana o en molinillo eléctrico, separando las porciones más gruesas. Se pasaron por un tamiz de 0.063 mm para obtener la fracción fina. Se pesaron $0,30 \pm 0,01$ gramos de la muestra (fracción de 0,063 ó 0,4 mm) y se colocaron en un reactor de PTFE del microondas. A continuación, se adicionaron 10 mL de HNO_3 y 2 mL de H_2O_2 , se cierra herméticamente y se realiza la mineralización. Después de mineralizar la muestra, el residuo obtenido se filtra y se lleva a un matraz de 100 mL. Después, se enrasa con agua destilada. La muestra está en disolución, preparada para el análisis. El análisis de las muestras se llevó a cabo en un ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Modelo Perkin Elmer NexION 300.

Los límites de cuantificación para los diferentes metales analizados en sedimentos y biota (peces y camarones) son los siguientes (ver **Cuadro 3**), siempre referidos a peso seco.

3 Se trata de los peces conocidos como chupapiedra o tití (*Sycidium altum*). Pertenecen a la familia Gobiidae (gobios). Los adultos van a desovar en los estuarios (bocas de los ríos); después de nacer, crecer como larvas y alcanzar el estado de alevín o juvenil, los chupapiedras remontan el río hasta los sitios en donde se establecen, crecen, hasta repetir el ciclo, por lo que es considerada una especie diádroma en los ríos panameños.

CUADRO 3. LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN PARA LOS DIFERENTES METALES ANALIZADOS

ANALITO	UNIDADES	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC en mg/Kg peso seco)
Al	mg/Kg	6,9
As	mg/Kg	0,69
B	mg/Kg	6,9
Cd	mg/Kg	0,69
Cr	mg/Kg	3,6
Cu	mg/Kg	1,8
Fe	mg/Kg	6,9
Hg	mg/Kg	0,06
Mn	mg/Kg	3,6
Ni	mg/Kg	3,6
P	mg/Kg	3,6
Pb	mg/Kg	0,69
Sb	mg/Kg	0,69
Sn	mg/Kg	0,69
Zn	mg/Kg	3,6



Preparación en laboratorio de las muestras de peces y camarones previo a su análisis en metales pesados.

3.4. Metodología de estudio de elementos biológicos

3.4.1. Protocolo de muestreo de macroinvertebrados

Para el muestreo de macroinvertebrados se ha empleado la metodología de *hábitat múltiple* con una red Surber tipo D. El método se centra en un esquema multihábitat diseñado para muestrear los hábitats mayoritarios con una representación proporcional a su presencia en el sitio de monitoreo.

En cada uno de los sitios se ha seleccionado un tramo de 50-100 m de longitud representativo de las características limnológicas y con diferentes tipos de hábitats del cuerpo de agua. El tramo presentará los tipos de hábitat más frecuentes en el cuerpo de agua, de modo que existan duplicados de elementos físicos y estructurales (por ejemplo la secuencia rápido-poza, etc.). Se han tenido en cuenta los siguientes cinco grupos de hábitats para el macrobentos (ver **Figura 1**):

- Sustratos duros: predominantes en zonas de rápidos, característicos de la mayor parte de los cauces de montaña y piedemonte.
- Detritos vegetales: los detritos y otros restos vegetales que han permanecido sumergidos durante un tiempo relativamente largo (no recién caídos), proporcionan una excelente colonización.
- Orillas vegetadas: bancos sumergidos, con raíces y plantas emergentes asociadas a ellos.
- Macrófitos sumergidos: son estacionales y pueden no estar presentes en todos los cauces, particularmente en los de tramo alto.
- Arena y otros sedimentos finos: normalmente el hábitat de macroinvertebrados menos productivo. Puede ser el predominante en algunos cauces.



Muestreo de macroinvertebrados.

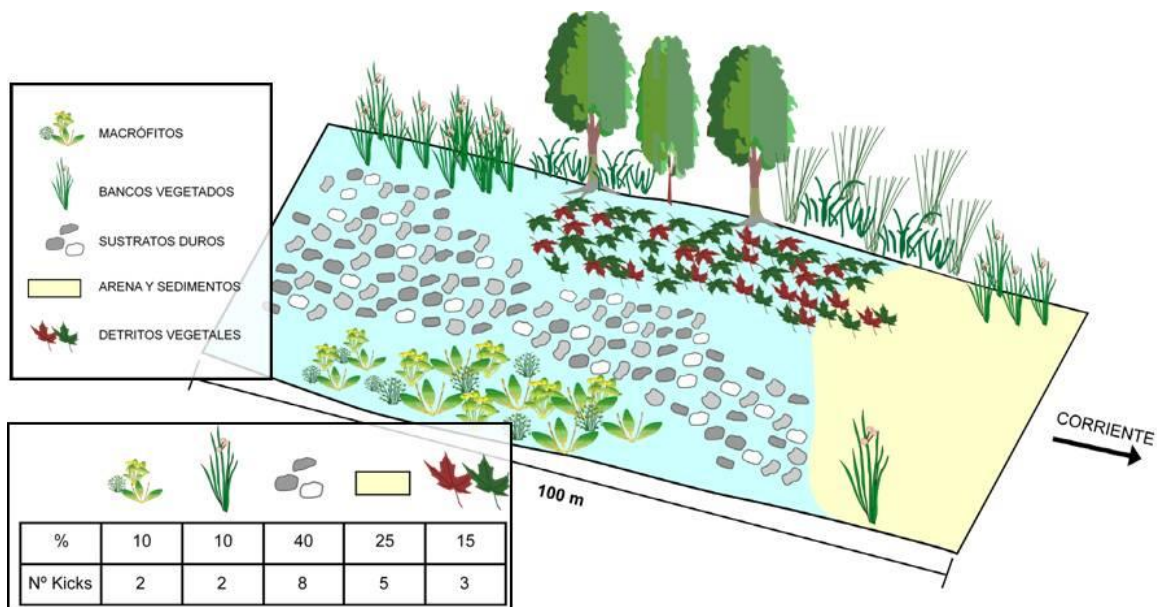


Figura 1. Repartición de las unidades de muestreo entre los diferentes hábitats.

Se ha repartido las 10 unidades de muestreo que se van a realizar entre los distintos tipos de hábitats presentes en el tramo. Dicha distribución se hace de forma proporcional al área ocupada por cada uno de dichos hábitats, de manera que cada muestra se corresponde al 5% de la superficie de cobertura de un hábitat. Los tipos de hábitats antes mencionados pueden subdividirse en función de las variaciones observadas en el campo y esto deberá reflejarse en la manera de repartir las unidades de muestreo.

Cada unidad de muestreo incluye la remoción del sustrato situado en el espacio de $0,09 \text{ m}^2$, con un total de 10 muestras por sitio y un área total muestreada de $0,9 \text{ m}^2$. El muestreo se realiza de aguas abajo hacia aguas arriba teniendo en cuenta las unidades de muestreo previamente definidas. Una vez obtenida la muestra, se procedió in situ a su limpieza previa y a su conservación con alcohol en recipientes adecuados.

Para todas las muestras se ha realizado inventario de los taxones presentes a nivel de familia y sus abundancias. Con dichos inventarios se han calculado los índices que se están empujando en Panamá en las diferentes redes biológicas con el fin de que los datos puedan compararse y, de esta manera, poder seguir la evolución de la calidad de los ríos objeto de estudio. La evaluación estadística de los datos bentónicos estará basada en la siguiente métrica:

- Densidad total de los invertebrados;
- Densidad de los principales grupos taxonómicos;
- Riqueza de los taxones;
- Diversidad y uniformidad según Simpson;
- Índice de Similitud de Bray Curtis;
- Taxones de efímeras, plecópteros y tricópteros (EPT) y la abundancia de los grupos individuales y

- Cantidad de taxones quironómidos y su abundancia.
- Nuevo índice en base a macroinvertebrados de Panamá (BMWP/PAN)⁴.

3.4.2. Protocolo de muestreo de diatomeas bentónicas

La metodología utilizada para realizar los muestreos de diatomeas bentónicas ha seguido el *Protocolo de muestreo y laboratorio de flora acuática (organismos fitobentónicos) en ríos código: MI-R-D-2013* del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Por su parte, para el cálculo del índice IPS de calidad de aguas para este parámetro se ha seguido el *Protocolo de cálculo del índice de polusensibilidad específica código: IPS-2013* del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Se analizaron las muestras de perifiton para cuantificar el contenido de clorofila “a” y una submuestra se utilizó para el análisis taxonómico de diatomeas según métodos normalizados (Standard Methods, 22 ed.).



Toma de muestras de diatomeas bentónicas en sustratos expuestos del río.

⁴ Cornejo R., A. 2010. Macroinvertebrados acuáticos bioindicadores de la calidad del agua en Panamá: Propuesta de Índice BMWP/PAN. Reunión especial: Macroinvertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO), 15-19 de junio, 2010, Villahermosa, Tabasco, Méjico.

3.4.3. Protocolo para el estudio de peces

Para el estudio de peces se realizaron en todos los sitios de muestreo capturas con pesca eléctrica en tramos de longitud variable (100-300 m), empleando un equipo de muestreo SUSAN 1030NP propiedad de la empresa. El equipo está compuesto por un generador de potencia conectando a un transformador-rectificador, para rectificar a corriente continua la alterna suministrada por éste. Con objeto de no dañar a los individuos y reducir el riesgo entre los muestreadores se utilizaron intensidades inferiores a 1 A y voltajes variables.

En cada tramo se realizó una sola pasada, que incluyó el muestreo de todos los hábitats ocupados por los peces, lo que permitió calcular las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE), manteniendo el tiempo y distancia de monitoreo uniforme entre los sitios. Los peces capturados se midieron con un ictiómetro de ± 1 mm y se pesaron al 0,1 g más cercano empleando una balanza portátil que permitió una medición con una precisión de $\pm 5\%$. Posteriormente, una vez medidos y pesados y revisado su estado gonadal, se devolvieron vivos a los ríos.

Igualmente, se evaluó el estado de salud de cada pez capturado mediante la observación directa de posibles anomalías externas, tales como parásitos, malformaciones, tumores o cicatrizaciones. Además, se calculó el índice gonadal omático (IGS) tanto a hembras como a machos de todos los estadios de madurez, utilizado para estimar las épocas de desove, según la fórmula de Holden y Raitt (1975):

$$\text{IGS} = \text{Peso gonadal} \times 100 / (\text{Peso corporal} - \text{Peso gonadal}).$$

De forma adicional, se utilizó como medida de salud de los peces el factor de condición, mediante la fórmula:

$$\text{Factor de Condición} = \text{Peso corporal} \times 100 / (\text{longitud total})$$

Se empleó un sistema adicional para calcular las épocas de desove a partir de una escala estándar de estados de maduración gonadal de cinco fases: inmaduro, virgen madurando o recuperado, maduro, hidratado y en regeneración (Adaptada de Holden y Raitt, 1975).

Se observó el estado de madurez en que se encontraban los individuos tanto hembras como machos y se elaboró una escala de maduración, adaptando la encontrada en Holden y Raitt, 1975. Se graficó la cantidad de machos y hembras en cada estado de madurez en cada sitio.

Para estimar la fecundidad se utilizaron las hembras en fase hidratada (IV) a las cuales se le extirparon las gónadas y se pesaron. Se pesó 0,1 g de una gónada y se realizó un conteo aproximado de huevos, en base a este conteo se estimó la cantidad de huevos con el peso de la gónada entera.

ESCALA EMPÍRICA DE MADUREZ SEXUAL PARA LAS HEMBRAS DE LA ESPECIE
CENTINELA (*SICYDIUM ALTUM*), ADAPTADA DE HOLDEN Y RAITT, 1975.

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL	FOTO
I	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, ovocitos invisibles a simple vista.	
II	Madurando/ recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud de la cavidad abdominal, ovocitos visibles a simple vista.	
III	Maduro	Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e identificables a simple vista.	
IV	Hidratado/ Desovando	Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Los ovocitos son de mayor tamaño que los de una gónada madura.	
V	Regeneración/Reversión	Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.	

ESCALA EMPÍRICA DE MADUREZ SEXUAL PARA LOS MACHOS DE LA ESPECIE
 CENTINELA (*SICYDIUM ALTUM*), ADAPTADA DE HOLDEN Y RAITT, 1975).

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL	FOTO
I	Inmaduro	Testículos muy pequeños, delgados y transparentes, situados cerca de la columna vertebral.	
II	Madurando/ recuperación	Testículos sin zonas blancas, presentan un borde posterior liso unido al mesenterio y un borde anterior acintado que forman repliegues en forma de "S".	
III	Maduro	Testículos desarrollados, abultados.	
IV	Hidratado/ Desovando	Testículos desarrollados de aspecto suave, cremoso.	
V	Regeneración/ Reversión	Testículos vacíos de gran tamaño, flácidos.	

3.5. Metodología estudio elementos hidromorfológicos y arraigo

En el presente programa se ha procedido a evaluar y analizar los aspectos relacionados con la calidad hidromorfológica y del hábitat fluvial de los ríos potencialmente afectados por las actividades de la mina y sitios de referencia, divididos en elementos propios del cauce y de aquellos característicos de las riberas de los ríos.

Para ello, se utilizaron dos índices adaptados a las aguas de Panamá que, a partir de la estimación visual de determinados rasgos fisonómicos y estructurales así como de su heterogeneidad, emiten un número entre 0 y 100 estimativo de la calidad del cauce (índice IHF-PAN) y de las riberas del río (índice QBR-PAN)⁵.

La predominancia de características indicativas de heterogeneidad, diversidad o inalterabilidad de estos ecosistemas se traduce en valores altos de sendos índices. Por el contrario, los ambientes alterados, homogéneos y simplificados en su estructura y diversidad, obtienen puntuaciones más bajas. Dichas evaluaciones quedaron reflejadas en las fichas de campo respectivas.

Por su parte, las mediciones de arraigo de la corriente se han realizado para brindar una evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat en cuanto a presencia de sedimentos finos. Las secciones de los ríos que tienen un bajo contenido de sedimentos y/o las corrientes de gran velocidad generalmente tienen poco arraigo, mientras que las secciones que tienen un alto contenido de sedimentos y/o velocidades más bajas generalmente tienen un arraigo más alto. Los sustratos con alto arraigo brindan una baja calidad del hábitat para los macroinvertebrados y peces por la poca disponibilidad de espacios intersticiales. Debido a la gran cantidad de vegetación y roca que serán movidos durante la construcción de la mina, existe la posibilidad de un aumento en la carga de sedimentos en las corrientes que lo reciben. El aumento en la carga de sedimentos ejercerá el mayor impacto en el hábitat de adoquín/grava (guijarro/cascajo) donde se llenan los espacios intersticiales. Las áreas con fondo lodoso o arenoso tienen menor riesgo de ser impactadas por el aumento en la carga de sedimentos.

Los valores de referencia de arraigo fueron establecidos en el año 2012 en tres de las cinco estaciones de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo cercano y áreas de referencia. Para evitar subjetividad de las evaluaciones visuales de arraigo, se estableció una medición cuantitativa en el 2012. Este método se lleva a cabo de la siguiente manera:

Se inserta un tubo central de 18 cm de diámetro a 10 cm dentro del sustrato, que es la misma profundidad a la que se hace el muestreo de macroinvertebrados bentónicos. El fondo del núcleo está sellado y se elimina del río el sustrato. A continuación, el sustrato se lava a través de una serie de tamices que separan el sustrato en adoquín/grava (>4 mm) arena muy gruesa (1 a 4 mm), arena gruesa (500 µm a 1 mm), arena mediana (250 µm a 500 µm) y arena fina (< 250 µm). También se deben tomar fotografías del grado de arraigo en cada una de las áreas seleccionadas además de las coordenadas GPS.

⁵ Los índices se han desarrollado y adaptado a las aguas continentales de Panamá por EES INTERNATIONAL, SA y aplicado y validado en el Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, bajo la supervisión de MiAmbiente y el Instituto Gorgas de Estudios de la Salud en el año 2015.

4. RESULTADOS

4.1. Elementos físico-químicos

4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas *in situ* de los parámetros y variables físico-químicas y resumen de las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos, se incluyen en el **Cuadro 4**.

Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy regulares, con cielos nublados o muy nublados (80-100% nubes), y con presencia de lluvia y aguaceros y una temperatura ambiente en el rango de 28-31°C.

Los flujos estimados de agua para los ríos fueron medios-bajos y propios de la época del año, con caudales del orden de 1,0-2,0 m³/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan, con valores estimados de 30 y 50 m³/s respectivamente.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indica que las aguas de los ríos estudiados presentan una alta concentración de oxígeno disuelto (92-98% de saturación), moderadas a bajas conductividades (41-127 µS/cm) y un pH ligeramente básico (7,5-8,0 unidades pH). Por tanto, son aguas bien oxigenadas, pH ligeramente básicos y de baja a moderada carga iónica.

Durante los monitoreos realizados tanto en octubre 2020, como en marzo 2021 se ha apreciado en la mayoría de los ríos una menor carga de sólidos en suspensión, con aguas más limpias y ausencia de turbidez en los ríos en donde, por comparación con el año 2016, presentaban elevada turbiedad. En el río Caimito la turbidez registrada ha estado asociada con condiciones naturales del río tras un período de lluvias y arrastres en su cuenca vertiente propio de la época del año.

Se destaca que en ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3° de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



CUADRO 4. CONDICIONES DE LOS MUESTREO Y MEDIDAS IN SITU DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

NOMBRE	FECHA DE MUESTREO	RIO	COND. MUESTREO	pH	TURBIEDAD (NTU)	T (°C)	COND. (μS/cm)	OD (mg/L)	OD (% SAT)	TDS (g/L)	COLOR AGUA
REF-Rinconcito	17/10/20	Rinconcito	100% Nubes	7,7	2,0	27,9	107,2	6,6	92,9	0,695	Sin color
PMC-Caimito	18/10/20	Rio del Medio-Uvero	90% Nubes	8,0	0,17	25,4	41,5	7,8	98,1	0,0273	Sin color
PML-Caimito	17/10/20	Caimito Segunda corriente	100% Nubes	7,5	25,4	25,3	127,1	7,5	96,1	0,0825	Marrón
PMC-Botija	19/10/20	Botija. San Benito	10% Nubes	7,5	1,2	23,7	99,6	8,2	97,9	0,1456	Sin color
PML-Botija	19/10/20	San Juan	10% Nubes	7,7	0,7	25,4	69,7	7,8	97,3	0,0565	Sin color
PMC-Petaquilla	27/03/21	Petaquilla	10% Nubes	6,5	4,7	24,7	52,5	7,9	98,6	0,026	Sin color
PML-Petaquilla	27/03/21	Petaquilla	10% Nubes	6,4	31,3	26,3	53,7	7,8	97,2	0,026	Marrón claro
REF-Hoja	27/03/21	Hola	10% Nubes	6,7	5,1	26,4	65,2	7,7	92,1	0,027	Sin color

4.1.2. Química del agua

En el **Anexo 2** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis de laboratorio realizados en agua. En el **Cuadro 5** se resumen los resultados de los análisis químicos en el agua.

CUADRO 5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA										
CÓDIGO	RIO	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	ALCAL. (mg/l CaCO ₃)	SS (mg/L)	NH ₄ (mg/L N)	NO ₃ (mg/L NO ₃)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO ₄ (mg/L PO ₄)	P _{total} (mg/L)	COD (mg/L)
REF- Rinconcito	Rinconcito	18	15	1,2	0,04	1,2	0,55	0,15	0,04	6,8
PMC-Caimito	Del Medio	30	20	1,1	0,03	1,5	0,40	0,10	0,03	7,2
PML-Caimito	Caimito	35	22	12,6	0,01	2,4	0,55	0,28	0,09	10,1
PMC-Botija	Botija	20	12	15,3	0,01	2,1	0,56	0,22	0,07	12,6
PML-Botija	San Juan	25	26	1,0	0,01	1,6	0,30	0,15	0,04	4,2
PMC- Petaquilla	Petaquilla	33	25	2,3	0,01	2,1	0,34	0,20	0,05	4,8
PML- Petaquilla	Petaquilla	40	31	10,2	0,01	3,4	0,36	0,21	0,06	4,9
REF-Hoja	Hoja	35	33	1,9	0,01	1,2	0,20	0,10	0,02	2,8

Las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD). Los sólidos en suspensión han sido bajos en todos los sitios, cumpliéndose con el límite de 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

No se han encontrado diferencias significativas con otros monitoreos, solo aquellas relacionadas por aumentos puntuales de los sólidos y nutrientes debidos a arrastres naturales en episodios de fuertes lluvias, en los que las concentraciones de estos parámetros pueden superar los valores límites que se han tomado como referencia.

En los **Cuadros 6 y 7** se incluyen los resultados analíticos de metales pesados (disueltos y totales) en agua. Se destaca que todos los metales incluidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008 en agua (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad.

Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en todos los sitios. No se ha valorado, ya que se trata de un valor de referencia no legal.

CUADRO 6. RESULTADOS DE METALES PESADOS DISUELTOS EN AGUA (ug/L)

PARÁMETRO	UNIDADES	REF- RINCONCITO	PMC- CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	ug/L	223	340	215	335	185	390	375	240
Antimonio	ug/L	0,20	0,82	0,40	0,32	0,25	0,34	0,40	0,42
Arsénico	ug/L	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Bario	ug/L	22,1	40,2	15,9	20,1	10,2	27,2	25,6	15,7
Berilio	ug/L	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01
Cinc	ug/L	4,1	4,8	8,6	6,1	5,5	2,8	3,4	8,2
Cobalto	ug/L	0,50	0,75	0,40	0,45	0,32	0,60	0,65	0,22
Cobre	ug/L	20,5	25,6	15,9	29,1	28,2	21,4	20,1	12,1
Cromo	ug/L	4,5	2,7	2,8	6,7	1,3	1,7	1,9	2,8
Hierro	ug/L	340,0	360,1	450,2	410,1	290,5	390,1	385,0	360,2
Manganeso	ug/L	15,1	90,2	100,1	85,3	40,2	21,2	30,4	23,5
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	2,1	2,20	1,10	1,12	1,10	<2	2,1	1,2
Plata	ug/L	0,07	0,08	0,09	1,1	0,02	0,05	0,06	0,02
Plomo	ug/L	0,01	0,33	0,35	0,51	0,22	0,01	0,03	0,04
Selenio	ug/L	<0,1	1,2	0,20	0,35	0,10	<0,1	<0,1	0,2
Vanadio	ug/L	1,1	3,6	0,2	0,8	0,1	1,8	3,1	1,2
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

CUADRO 7. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN AGUA (ug/L)

PARÁMETRO	UNIDAD	REF- RINCONCITO	PMC- CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	ug/L	2400	4600	2300	1580	1650	2150	2300	1550
Antimonio	ug/L	3,5	2,8	2,9	3,2	2,1	3,4	3,9	4,1
Arsénico	ug/L	6,1	7,8	20,1	7,8	6,9	10,9	9,8	10,1
Bario	ug/L	20,1	45,7	70,7	88,2	80,5	60,2	80,1	75,4
Berilio	ug/L	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,02	0,09	0,12	0,15	0,04	0,22	0,30	0,20
Cinc	ug/L	22,9	33,1	20,1	31,7	80,2	22,4	30,1	30,6
Cobalto	ug/L	2,3	2,1	1,9	0,87	1,6	2,3	1,8	2,5
Cobre	ug/L	24,5	37,5	14,1	34,8	15,4	20,1	30,8	18,2
Cromo	ug/L	3,8	4,6	1,1	1,3	1,7	1,9	2,1	1,8
Hierro	ug/L	780,2	1790,4	1650,0	1980,3	1120,4	1780,0	1880,1	1200,2
Manganeso	ug/L	80,1	340,2	128,3	90,5	85,3	70,4	90,1	80,2
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	7,1	<1	<1	1,1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Plata	ug/L	3,1	3,8	2,9	2,6	3,4	3,2	2,9	3,1
Plomo	ug/L	1,5	1,1	1,9	1,2	2,3	2,0	1,9	2,4
Selenio	ug/L	4,5	3,0	2,6	2,2	4,5	2,9	3,1	2,6
Vanadio	ug/L	3,9	7,6	5,6	4,3	5,0	5,1	3,2	4,1
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

4.1.3. Metales pesados en sedimentos

Para valorar el grado de contenido de los sedimentos de agua dulce se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME, 1995).

El protocolo canadiense contempla dos niveles de referencia (ver **Cuadro 8**): el límite de efectos bajos (LEB) y el límite de efectos altos (LEA), tanto para sedimentos de agua dulce como para sedimentos de agua marina.

En los dos casos, el primero expresa la concentración por debajo de la cual la probabilidad de toxicidad es menor del 20% y el segundo define el nivel por encima del cual la probabilidad de toxicidad es mayor del 50%.

CUADRO 8. LÍMITES PARA SEDIMENTO DE AGUA DULCE DEL PROTOCOLO DEL CONSEJO CANADIENSE DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (CCME)

ELEMENTO	LÍMITES EFECTOS BAJOS (LEB)	LÍMITE EFECTOS ALTOS (LEA)
	mg/kg de suelo	
Arsénico	5,90	17
Cadmio	0,60	3,50
Cromo	37,3	90
Cobre	35,7	197
Plomo	35	91,3
Mercurio	0,17	0,486
Zinc	123	315

Por su parte, en el **Cuadro 9** y **Anexo 2** se recogen los análisis de metales pesados en sedimentos referido a materia seca (s.m.s.), facilitados por el laboratorio acreditado.

Teniendo en cuenta esta referencia, el cobre incumple el límite de efectos bajos (LEB) en todos los sitios de monitoreo. Para el cromo, se incumple el LEB en los sitios Caimito cercano y en los dos puntos en el río Botija.

Para todos los sitios de muestreo, el resto de metales en sedimentos cumple con el LEB.

CUADRO 9. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN SEDIMENTOS (mg/Kg m.s.m.)

PARÁMETRO	UNIDAD	REF- RINCONCITO	PMC- CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	mg/Kg	16250	15460	14500	17340	21355	15600	15450	10700
Antimonio	mg/Kg	0,33	0,20	0,15	0,27	0,17	0,10	0,20	0,15
Arsénico	mg/Kg	0,23	0,65	0,45	0,70	0,90	0,40	0,48	0,23
Bario	mg/Kg	55,4	28,9	25,4	60,9	79,1	19,1	20,3	71,2
Berilio	mg/Kg	0,40	0,38	0,20	0,41	0,18	0,28	0,33	0,10
Boro	mg/Kg	170,2	180,3	210,1	90,4	88,2	120,1	89,2	70,2
Cadmio	mg/Kg	0,06	0,02	0,07	0,02	0,10	0,05	0,04	0,02
Cinc	mg/Kg	31,5	56,7	44,3	78,9	120,3	60,2	70,1	55,3
Cobalto	mg/Kg	12,4	10,1	10,9	15,4	22,1	20,2	10,1	10,5
Cobre	mg/Kg	60,1	88,7	77,6	134,7	122,1	156,1	160,2	56,2
Cromo	mg/Kg	20,7	42,8	34,5	70,6	57,2	24,6	34,5	23,4
Hierro	mg/Kg	25600,1	33690,1	56470,5	35600,4	44670,1	50450,1	51230,2	40340,1
Manganeso	mg/Kg	760,2	870,1	789,6	850,1	970,6	860,1	840,2	670,9
Molibdeno	mg/Kg	0,20	0,56	1,15	0,50	1,7	2,5	2,3	1,2
Níquel	mg/Kg	2,5	2,1	4,1	10,2	15,8	10,4	10,7	14,1
Plata	mg/Kg	0,45	0,20	0,23	0,21	0,34	0,25	0,20	0,30
Plomo	mg/Kg	5,6	3,2	3,9	5,7	4,6	2,1	4,1	2,7
Selenio	mg/Kg	20,1	34,7	15,6	12,1	30,0	10,1	11,2	32,1
Vanadio	mg/Kg	180,1	190,1	240,7	170,4	220,7	220,1	230,3	190,3
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

4.1.4. Metales pesados en biota (peces y camarones)

Para valorar el grado de contenido de metales en peces, se han utilizado los siguientes valores de referencia incluidos en el memorandun interno de MINERA PANAMÁ, preparado por Meyer Eps, Inc (16 de febrero de 2017):

Country	Type	Arsenic (mg/Kg)	Cadmium (mg/Kg)	Copper (mg/Kg)	Lead (mg/Kg)	Mercury (mg/Kg)	Selenium (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	Ref.
Australia-N. Zealand	Food Standard	1.0 – 2.0	2	--	0.5-2.0	0.5-1.5	--	--	1
Canada	Max. limit	3.5	--	--	0.5	0.5-1.0	--	--	2
USA (FDA)	Food Standard	--	--	--	--	1	--	--	3
USA (USEPA)	Fish tissue	0.46	1.5	62	--	--	7.7	460	4
European Union	Food Standard	--	0.05-1.0	--	0.3-1.5	0.5-1.0	--	--	5
WHO/FAO	Fish Standard	--	2	--	0.3	0.5 – 1.0	--	--	6
Hong Kong	Max. limit-fish	6-10	2	--	6	0.5	--	--	7
China	Max. limit-fish	0.1-0.5	0.1-2.0	--	0.5-2.0	0.5-1.0	--	--	8
Brazil	Food Standard	--	--	--	--	0.5	--	--	9
Chile	Food Standard	1	0.05	10	2	--	0.3	100	9
Denmark	Food Standard	--	--	--	--	0.5	--	--	9
Ecuador	Food Standard	1	--	10	5	1	--	--	9
Finland	Fish Standard	5	--	--	2	1	--	--	9
France	Seafood Standard	--	--	--	--	0.5 – 0.7	--	--	9
Germany	Fish Standard	--	0.5	--	0.5	1	--	--	9
Greece	Fish Standard	--	--	--	--	0.7	--	--	9
India	Fish Standard	1	--	10	5	0.5	--	50	9
Italy	Fish Standard	--	--	--	2	0.7	--	--	9
Japan	Food Standard	--	--	--	--	0.4	--	--	9
Netherlands	Seafood Standard	--	0.05 – 1.0	--	0.5 – 2.0	1	--	--	9
Philippines	Food Standard	3	--	--	0.5	0.5	--	--	9
Poland	Fish Standard	4	--	10-30	1.0 – 2.0	--	--	30 – 50	9
Spain	Fish Standard	--	--	--	--	0.5	--	--	9
Sweden	Fish Standard	--	--	--	1.0 – 2.0	1	--	--	9
Switzerland	Fish Standard	--	0.1	--	1	0.5	--	--	9
Thailand	Fish Standard	2	--	20	1	0.5	--	--	9
U.K.	Food Standard	1	--	20	2.0 – 10	--	--	50	9
Venezuela	Seafood Standard	0.1	0.1	10	2	0.5	--	--	9
Zambia	Fish Standard	3.5 -5.0	--	100	0.5 – 10	0.2 – 0.3	--	100	9
Range		0.1-10	0.05-2	10-100	0.3-10	0.2-1.5	0.3-7.7	30-460	

Note: Some of the values provided are standards, others are merely recommendations. Some are based on dry weight, while others are based on wet weight.

1 ANZFA (Australia New Zealand Food Authority). 2016. Food Standards Code: Standards 1.4.1-Contaminants and Natural Toxicants; values listed are for fish and shellfish in Schedule 19. As updated to March 1, 2016.

2 Health Canada. 2016. Canadian Standards (Maximum Levels) for Various Chemical Contaminants in Foods. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/adulterating-substances-adulterantes-eng.php>; <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives-eng.php>

3 FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2011. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance- 4th Edition. April.

4 United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2020. Regional Screening Levels for Resident Fish. Calculated assuming 54 g/day consumption

5 European Union. 2008. Commission Regulation No. 1831/2006 and No. 629/2008 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs; values are listed for fish and shellfish

6 WHO/FAO. 2015. Codex Alimentarius International Food Standards. Food and Agriculture Org. of the United Nations and World Health Organization. Updated through 2015. (Hg as methylmercury)

7 Hong Kong. 2007. Public Health and Municipal Services Ordinance (Cap. 132), Part V- Food Alteration (Metallic Contaminants).

8 China. 2012. National Food Safety Standard- Maximum Levels of Contaminants in Food. GB2762-2012. Hg as methylmercury.

9 Nauen, C. 1983. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. Food and Agricultural Organization of the United Nation. Rome, October 1983.

En el **Cuadro 10** y **Anexo 2** se recogen los resultados de los análisis de metales pesados en guabinas (*Gobiomorus dormitor*) y titíes (*Sicydium altum*) referidos a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 10. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN PECES (mg/Kg m.s.m.)									
PARÁMETRO	UNIDAD	REF-RINCONCITO	PMC-CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA	PMC-PETAQUILLA	PML-PETAQUILLA	REF-HOJA
Aluminio	mg/Kg	56,7	40,3	35,7	50,1	45,2	50,1	51,6	30,1
Arsenico	mg/Kg	0,30	0,41	0,37	0,51	0,47	0,22	0,33	0,24
Bario	mg/Kg	40,2	23,6	15,4	10,3	30,1	30,7	27,8	20,2
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	1,9	1,1	1,6	1,8	0,90	1,1	1,3	1,0
Cinc	mg/Kg	54,2	76,1	35,8	50,3	48,7	40,5	50,1	30,2
Cobalto	mg/Kg	0,33	0,25	0,26	0,15	0,34	0,30	0,34	0,20
Cobre	mg/Kg	2,3	5,8	9,6	5,1	4,1	1,8	2,5	1,3
Cromo	mg/Kg	0,48	0,31	0,24	0,20	0,66	0,25	0,30	0,15
Hierro	mg/Kg	70,2	57,1	48,2	41,3	78,2	30,2	40,7	40,2
Manganeso	mg/Kg	15,4	8,7	10,1	21,3	7,9	10,1	10,9	10,7
Molibdeno	mg/Kg	0,23	0,28	0,30	0,15	0,21	0,15	0,20	0,31
Niquel	mg/Kg	0,70	0,48	0,32	0,17	0,15	0,56	0,56	0,24
Plomo	mg/Kg	0,22	0,15	0,09	0,15	0,21	0,37	0,29	0,1
Selenio	mg/Kg	2,40	0,14	0,47	0,55	0,79	3,1	2,8	0,40
Vanadio	mg/Kg	0,20	0,18	0,31	0,24	0,38	0,30	0,24	0,10
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Por comparación con los valores de referencia señalados, cabe destacar que el arsénico, cadmio, cinc y selenio (excepto en PMC-Caimito) se encuentran por encima del rango bajo de los valores de referencia, no alcanzando el rango alto de los mismos. Por su parte, el resto de metales presentan concentraciones por debajo del valor bajo de referencia.

Al no existir valores de referencia legales en Panamá, no se puede establecer el grado de cumplimiento legal para metales pesados en peces.

En el **Cuadro 11** y **Anexo 2** se recogen los resultados de los análisis de metales pesados en camarones (*Macrobrachium spp*) referidos a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 11. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN CAMARONES (mg/Kg m.s.m.)									
PARÁMETRO	UNIDAD	REF-RINCONCITO	PMC-CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA	PMC-PETAQUILLA	PML-PETAQUILLA	REF-HOJA
Aluminio	mg/Kg	210,1	345,5	350,2	330,1	280,6	320,2	340,1	260,1
Arsenico	mg/Kg	0,59	1,10	0,90	0,76	1,20	0,50	0,65	0,60
Bario	mg/Kg	360,8	220,2	340,4	260,4	155,3	210,4	215,1	210,8
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	0,89	0,81	0,90	0,78	0,61	0,40	0,50	0,80
Cinc	mg/Kg	105,1	140,3	90,8	85,4	120,1	80,9	90,3	60,8
Cobalto	mg/Kg	2,30	1,22	1,44	1,87	2,10	3,4	2,8	1,1
Cobre	mg/Kg	345,0	240,1	266,2	244,1	250,3	210,0	230,2	220,3
Cromo	mg/Kg	0,90	1,15	0,55	0,80	0,33	0,65	0,80	0,50
Hierro	mg/Kg	520,2	430,3	640,4	710,6	230,1	230,1	245,6	360,6
Manganeso	mg/Kg	170,1	144,3	179,0	156,5	150,3	150,1	155,2	150,1
Molibdeno	mg/Kg	0,72	0,37	0,89	0,55	0,30	0,46	0,50	0,80
Niquel	mg/Kg	1,9	2,1	1,0	1,9	2,0	1,1	1,9	1,8
Plomo	mg/Kg	0,10	0,25	0,14	0,33	0,27	0,20	0,20	0,10
Selenio	mg/Kg	2,1	2,4	1,9	2,5	1,1	2,3	2,1	1,2
Vanadio	mg/Kg	1,1	2,3	2,1	2,0	1,6	1,8	1,5	2,6
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Al igual que sucedió en otros muestreos (Ecometrix, 2012), las concentraciones de metales en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, sin un claro modelo de comportamiento entre estaciones.

Panamá no cuenta con límites legales para este indicador, no se puede establecer un nivel de calidad objetivo para este parámetro. De todas formas, en el capítulo de estudio de tendencias se analiza la evolución de estos parámetros (tanto metales pesados en peces como en camarones) en los diferentes monitoreos realizados en el tiempo.

4.2. Elementos biológicos

4.2.1. Macroinvertebrados

En el **Cuadro 12** se muestra la relación de los taxones identificados y su densidad (ind/m²) en los sitios del monitoreo.

CUADRO 12. LISTADO Y DENSIDAD (ind/m ²) DE MACROINVERTEBRADOS								
FAMILIA	REF- RINCONCITO	PMC – CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
	Rinconcito	Caimito	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla	Hoja
Atydae				1	1	1	1	
Baetidae	10	5	2	5		1		2
Belostomatidae		1						
Ceratopogonidae	1	1				1		
Chironomidae	1		3	3	1	1		3
Coenagrionidae	1	1		1		1	1	
Corydalidae	1			1	1	1	5	
Crambidae	1		5		2	1	5	5
Elmidae	2	10	5	1	5	2	1	5
Glossosomatidae	1				1	1		
Gomphidae	1		5			1	5	5
Hydrobiidae			1	1		1		1
Hidropsychidae	5		5		1	5		5
Leptoceridae	1		1			1		1
Leptohyphidae		1	5					5
Leptophlebiidae	10	5	25	5	20	5	1	10
Libellulidae	1		1			1	1	1
Lymnaeidae		1	1				1	1
Neritidae			5					5
Palaemonidae	1		35	1	1	1	5	10
Perlidae	1		5		1	1		5
Philopotamidae	30	5	25	10	40			5
Planariidae	1		1			1		1
Polythoridae	1					1		
Psephenidae	5	1	5			5	1	5
Ptilodactylidae		5		1	1		5	
Simuliidae	1			1	9	1		
Thiaridae		10	1				1	1

CUADRO 12. LISTADO Y DENSIDAD (ind/m²) DE MACROINVERTEBRADOS

FAMILIA	REF- RINCONCITO	PMC – CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
	Rinconcito	Caimito	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla	Hoja
Tipulidae	1	1				1		
Veliidae	1	1				1	1	
Ancylidae		1			1	1	1	
Naucoridae			1	1				1
Gyrinidae		1				1	1	
Mesovelidae				1				
Corixidae		1						0
Hydroptilidae			1					1
Hydracarina	1				1	1		
TOTAL	79	51	138	33	86	39	36	78

En total se han encontrado 14-26 taxones que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emiliidae*, *Leptophlebiidae*, *Palaemonidae* (especialmente en la estación PML-Caimito) y *Thiaridae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien representado, aunque con densidades moderadas a bajas. La estación con densidades más bajas de macroinvertebrados ha sido la del río Botija (PMC-Botija) y con mayores densidades en el río Caimito (PML-Caimito).

En el **Cuadro 13** se recogen los diferentes índices estructurales (diversidad, equitabilidad, etc). Destacan que los valores de diversidad son muy homogéneos entre estaciones, correspondiendo a los más elevados a la estación Caimito cercano o río Uvero (o Del Medio).

CUADRO 13. INDICES ESTRUCTURALES DE LOS MACROINVERTEBRADOS

INDICES	REF- RINCONCITO	PMC – CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Taxa_S	23	17	21	14	15	26	16	21
Individuals	79	51	138	33	86	39	36	78
Dominance_D	0,19	0,12	0,14	0,15	0,28	0,07	0,1049	0,07331
Simpson_1-D	0,81	0,88	0,85	0,84	0,71	0,93	0,8951	0,9267
Shannon_H	2,27	2,40	2,35	2,21	1,70	3,01	2,466	2,778
Evenness_e^H/S	0,42	0,65	0,50	0,65	0,36	0,78	0,7358	0,7658
Brillouin	1,95	2,02	2,14	1,77	1,50	2,35	1,994	2,425
Menhinick	2,59	2,38	1,78	2,43	1,61	4,16	2,667	2,378
Margalef	5,04	4,07	4,05	3,71	3,14	6,82	4,186	4,591
Equitability_J	0,73	0,85	0,77	0,83	0,62	0,92	0,8894	0,9124
Berger-Parker	0,37	0,19	0,25	0,30	0,46	0,13	0,1389	0,1282
Chao-1	91	72	35	59	37	141,5	71	35

Los resultados indican, de forma general, que se pueden distinguir dos grupos de comunidades de macroinvertebrados. Por un lado, las comunidades de los ríos Botija y Del Medio, con densidades y nº de taxones más bajos, más asociadas con el tipo de sustrato, muy pobre y con pocas condiciones de habitabilidad para el macrobentos, que con alteraciones de la calidad del agua u otro tipo de impacto ambiental.



Muestreo con red tipo Surber.

PRINCIPALES TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS



Perlidae



Philopotamidae



Chironomidae



Tipulidae



Elmidae



Naucoridae

4.2.2. Perifiton

En el **Anexo 4** se incluyen los resultados de los análisis de perifiton para los monitoreos. En el **Cuadro 14** y **Gráfico 1** se recogen el número de valvas totales y los diferentes índices de diversidad y equitabilidad, así como número de taxones y válvas de diatomeas o número de individuos.

CUADRO 14. NÚMERO DE TAXONES Y VALVAS E ÍNDICES ESTRUCTURALES DEL PERIFITON								
INDICES	REF-RINCONCITO	PMC – CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA	PMC-PETAQUILLA	PML-PETAQUILLA	REF-HOJA
Número taxones	28	22	42	8	25	18	34	21
Número de valvas	351	180	353	411	372	93	143	187
Dominance_D	0,19	0,11	0,10	0,48	0,45	0,1137	0,07546	0,4243
Simpson_1-D	0,81	0,89	0,90	0,53	0,55	0,8863	0,9245	0,5757
Shannon_H	2,31	2,49	2,83	0,84	1,48	2,437	2,984	1,574
Evenness_e^H/S	0,36	0,55	0,40	0,29	0,18	0,6356	0,5813	0,2299
Brillouin	2,19	2,31	2,65	0,81	1,39	2,178	2,672	1,431
Menhinick	1,50	1,64	2,24	0,39	1,30	1,867	2,843	1,536
Margalef	4,61	4,04	6,99	1,16	4,06	3,751	6,649	3,823
Equitability_J	0,69	0,81	0,76	0,40	0,46	0,8432	0,8461	0,5171
Berger-Parker	0,40	0,17	0,22	0,51	0,66	0,2151	0,1748	0,6417
Clorofila "a" (mg/m ²)	1,30	2,10	1,95	0,25	1,20	1,33	1,38	0,90

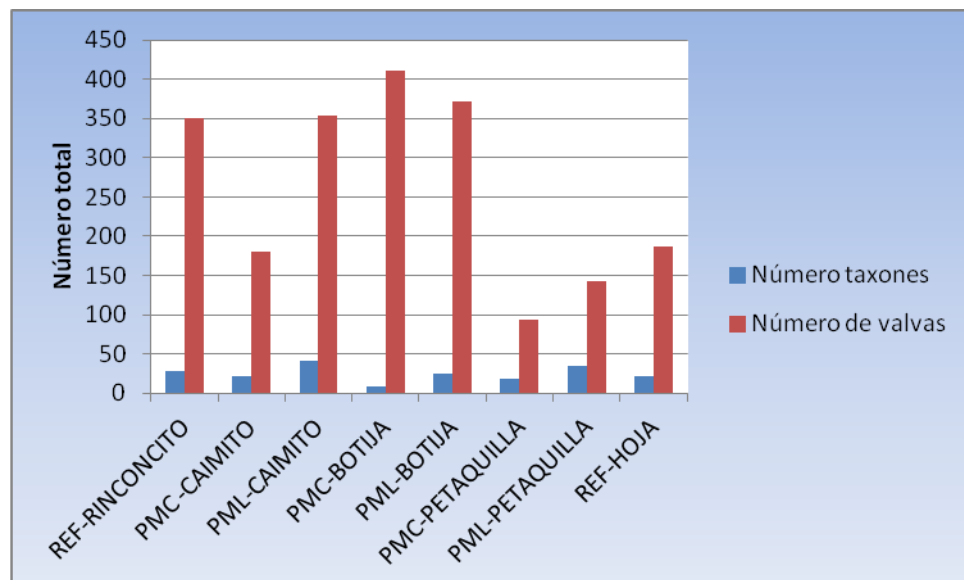


Gráfico 1. Distribución del número de taxones y valvas del perifiton.

El fitobentos o perifiton son microalgas que viven adheridas a las superficies de piedras, material vegetal o cualquier estructura solida presente en los lechos de ríos, lagos o cualquier masa de agua continental. La mayoría del fitobentos son productores primarios y como tales responden a las variaciones de los nutrientes (especialmente del fósforo); algunas especies pueden comportarse como organismos heterotróficos en aguas con aumentos de materia orgánica. Las comunidades de microalgas bentónicas responden al aumento de nutrientes (principalmente P y N) en el agua, mediante cambios en su composición que, en algunos casos, suponen la disminución de la diversidad, y el aumento de la biomasa; de forma que cuando la masa de agua se eutrofiza los sustratos aparecen recubiertos de pátinas verdes o pardas de algas. Asimismo, otro tipo de presiones de origen antrópico pueden inducir cambios en su composición y estructura.

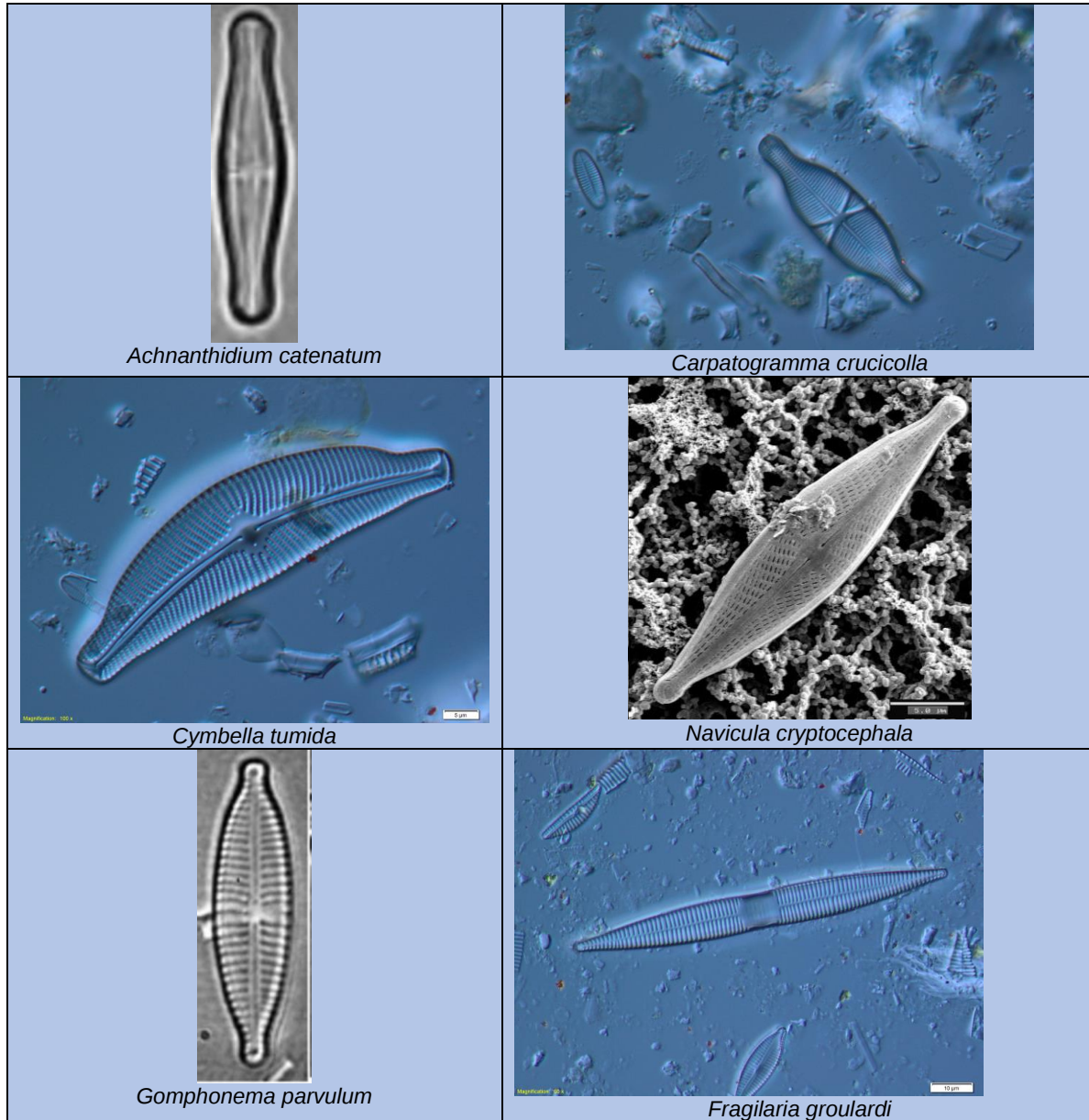
La muestra de Caimito Lejano presenta la mayor riqueza de taxones (42), seguida de Rinconcito (28), Caimito Cercano (22) y río San Juan (25); en menor medida, la estación Botija Cercano en san Benito cuenta con 8 taxones. Por su parte, el número de valvas ha sido muy similar en los sitios Rinconcito, PML-Botija y PML-Caimito, siendo menor en PMC-Caimito y más elevado en PMC-Botija. Por su parte, en los monitoreos de marzo de 2021 se registró una menor densidad o número de valvas, aunque con un número de taxones similares, debido principalmente a la época del año muestreada.

Los índices estructurales indican una menor diversidad Shannon (H) de especies en PMC-Botija que se ve más destacada si se emplea el índice de Margalef; el resto de sitios presentan valores similares para estos índices. Por su parte, la dominancia es mayor en los sitios PMC-Botija y PML-Botija, con altas densidades en estos dos sitios de las especies *Achnanthydium catenatum* y *Achnanthydium rivulare*.

La especie con mayor distribución fue *Achnanthydium catenatum*, que está representada en todas las estaciones con densidades medias-alta. El género *Achnanthydium* está muy representado en gran parte de los sitios muestreados; se trata de una diatomea perteneciente a la clase Bacillariophyceae, muy extendida en agua dulce y propia de sistema oligotróficos. Igualmente, aparecen con una amplia distribución los géneros Navicula, Fragillaria, Nitzschiay Gomphonema, todas ellas diatomeas de la clase Bacillariophyceae.

No se encuentra una relación clara entre el contenido en Clorofila “a” –indicador de la biomasa– y el número total de valvas, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie, con poco significado en las diatomeas bentónicas. Se han registrado los mayores valores en los sitios del río Caimito, con valores propios de aguas con media productividad algal.

PRINCIPALES TAXONES DEL PERIFITON



4.2.3. Peces

En el **Cuadro 15** y **Gráfico 2** se recogen los resultados de los muestreos de peces (referido a Capturas Por Unidad de Esfuerzo, CPUE) y en el **Anexo 4** un reportaje fotográfico de las especies capturadas.

CUADRO 15. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES (CPUE)								
ESPECIE	REF- RINCONCITO	PMC- CAIMITO	PML- CAIMITO	PMC- BOTIJA	PML- BOTIJA	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla	Hoja
<i>Agonostomus monticola</i> (Bancroft, 1834)	4	1	8		3	10	6	6
<i>Andinoacaracoeruleo punctatus</i> (Kner, 1863)	2					3		3
<i>Anguilla rostrata</i> (Lesueur, 1817)	1							
<i>Astyanax aeneus</i> (Günther, 1860)	5	8		7	8	4	6	
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	6	8		5	4			5
<i>Brycon chagrensis</i> (Kner, 1863)	2			2	2	3		
<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin, 1789)			2			1		
<i>Gephyrocharax intermedius</i> (Meek & Hildebrand, 1916)		5		5	5	8	1	9
<i>Joturus pichardi</i> (Poey, 1860)			1					
<i>Gobiomorus dormitory</i> (Lacepède, 1800)	3				4		4	3
<i>Pomadasys croco</i> (Cuvier, 1830)			4					
<i>Poecilia gilli</i> (Kner y Steindachner, 1864)		1		6	5	10		7
<i>Roeboides loftini</i> (Lucena, 2011)				5	6			
<i>Sicydium altum</i> (Meek, 1907)	6	10				4	10	5

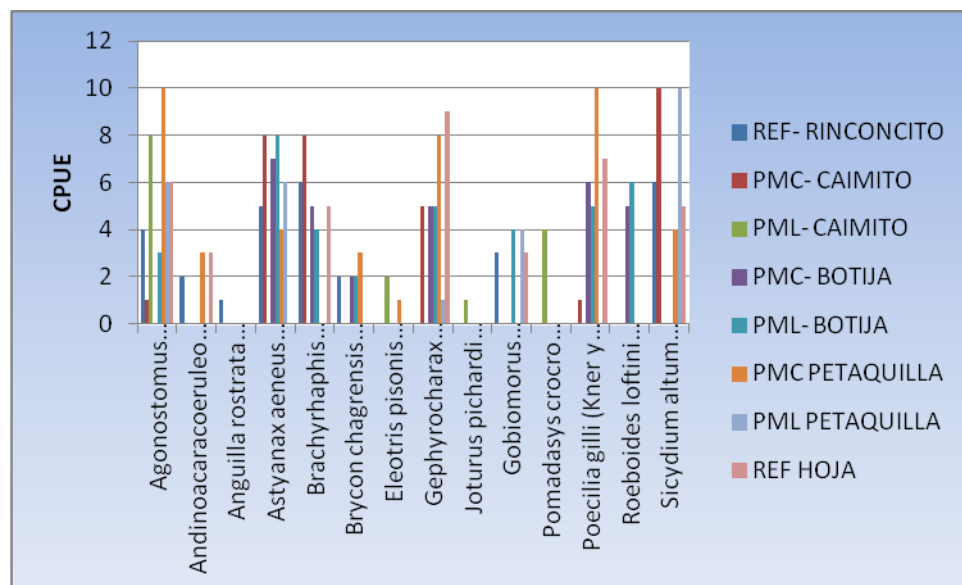


Gráfico 2. Distribución de la abundancia de las especies de peces en los sitios de monitoreo.

PMC-CAIMITO (RIO DE EN MEDIO O UVERO)

En este río se registraron 6 especies, siendo la más abundante el tití (*Sicydium altum*) que representa un 30,3% del total de capturas, seguido del chopite (*Brachyrhaphis cascajalensis*) y la sardina (*Astyanax aeneus*) con un 24% cada uno de representación. En menor medida aparece el *Gephyrocharax intermedius* con un 15% de representación y otras especies con baja presencia (lisa y poecila) con menos del 3%.

PML-CAIMITO

El río Caimito en la zona conocida como “segundo rápido” presenta de forma potencial una alta diversidad de especies, debido a que se trata de un río de tamaño medio y elevada capacidad biológica, además de ser hábitat preferente de especies migradoras marinas. En este monitoreo, se han registrado 4 especies de río propiamente dichas, además de otras 3 especies migradoras que realizan desplazamientos desde o hacia el mar (jureles, mojarra y róbalo). Destacan por su presencia la lisa de río (*Agonostomus monticola*), con un 32% y el ronco (*Pomadasys crocro*), con un 16%. Las especies migratorias (jureles, mojarra, etc) representan cerca del 45% de las capturas.

REF-RINCONCITO

Las principales especies muestreadas -de las 8 especies registradas- fueron el tití (*Sicydium altum*) y el chompipe (*Brachyrhaphis cascajalensis*), que representa cada una un total de 18,7% de las capturas y la lisa (*Agonostomus monticola*) con un 12%. Le siguen en importancia la guabina (*Gobiomorus dormitor*) y el barbú (*Trichomycterus striatus*) con un 9,3%. El resto de especies encontradas se mantienen por debajo del 6%, destacando la única anguila (*Anguilla rostrata*) que se ha capturado en este muestreo.

PMC-BOTIJA (EN SAN BENITO)

En el río Botija en San Benito se ha registrado 6 especies de peces, siendo la sardina (*Astyanax aeneus*) la que ha tenido un mayor porcentaje de capturas (23,3%). Le siguen el chompipe (*Poecilia gillii*) con un 20% de las capturas y con igual porcentaje (16,6%) el resto de especies chopite (*Brachyrhaphis cascajalensis*), *Gephyrocharax intermedius* y la sardina (*Roeboides loftini*).

PML-BOTIJA (RÍO SAN JUAN)

En el monitoreo completado este año se registraron 8 especies de peces, siendo la más abundante la sardina (*Astyanax aeneus*) con un 21,6%. Asimismo, la sardina (*Roeboides loftini*) con un 16,2%, el chompipe (*Poecilia gillii*) y el *Gephyrocharax intermedius* con un 13,5% y en menor medida la guabina (*Gobiomorus dormitor*), con un 10,8%, son las especies más abundantes.

PMC-PETAQUILLA

Las principales especies muestreadas fueron la lisa (*Agonostomus monticola*) y el chompipe (*Poecilia gillii*) con un 23,8%, seguido del *Gephyrocharax intermedius* con un 19%. El resto de especies encontradas se mantienen por debajo del 10%.

PML-PETAQUILLA

En el sitio lejano del río Petaquilla, aguas abajo del cercano en Lata, destacan el tití (*Sicydium altum*) con un 37% de las capturas, seguido de la lisa (*Agonostomus monticola*) y sardina (*Astyanax aeneus*) con un 22%. El resto de especies aparecen con porcentajes medios con la guabina (*Gobiomorus dormitor*) y bajos con *Gephyrocharax intermedius*.

REF-HOJA

En el sitio de referencia en el río Hoja, se destaca el alto porcentaje de *Gephyrocharax intermedius*, con un 23%, seguido del chompipe (*Poecilia gillii*) con un 18,4%, la lisa (*Agonostomus monticola*) con un 15,7% y el chopite (*Brachyrhaphis cascajalensis*) con un 13,1%. El resto de especies capturadas en este sitio de referencia han sido el *Andinoacaracoeruleo punctatus* y la guabina (*Gobiomorus dormitor*), ambos con un 7,8%.

A) Análisis estructural y descripción de las comunidades de peces

En el **Cuadro 16** se recogen los diferentes índices estructurales de las comunidades de peces para las dos campañas de monitoreo.

CUADRO 16. INDICES ESTRUCTURALES DE LOS PECES								
ÍNDICES	REF- Rinconcito	PMC- Caimito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML- Botija	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla	Hoja
Taxa_S	8	6	4	6	8	8	5	7
Individuals	29	33	15	30	37	43	27	38
Dominance_D	0,16	0,23	0,38	0,18	0,14	0,17	0,26	0,16
Simpson_1-D	0,84	0,77	0,62	0,82	0,86	0,83	0,74	0,84
Shannon_H	1,95	1,55	1,14	1,74	2,01	1,89	1,44	1,88
Evenness_e^H/S	0,88	0,78	0,78	0,95	0,93	0,83	0,85	0,94
Brillouin	1,62	1,33	0,89	1,48	1,72	1,65	1,23	1,63
Menhinick	1,49	1,04	1,03	1,10	1,32	1,22	0,96	1,14
Margalef	2,08	1,43	1,11	1,47	1,94	1,86	1,21	1,65
Equitability_J	0,94	0,86	0,82	0,97	0,97	0,91	0,90	0,97
Berger-Parker	0,21	0,30	0,53	0,23	0,22	0,23	0,37	0,24
Chao-1	8	7	4	6	8	8	5	7

Se han registrado un número variable de taxones, con un máximo de 8 en los ríos Rinconcito y San Juan y un mínimo de 4 en el río Caimito (sin considerar las migradoras). Las densidades también han sido muy variables, con máximos en el río San Juan y un mínimo en el Caimito lejano. En consonancia, las diversidades han variado de 1,14 bits en el río Caimito lejano y 2,01 bits en el San Juan.

Al igual que otros años, las especies registradas durante los monitoreos forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde factores tales como la altitud, tipología del río y la temperatura del agua condicionan su presencia. En general, siguen el patrón normal de distribución de las especies en los ríos subtropicales, es decir, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad.

La diferencia que existe entre la presencia de una especie entre un sitio y otro, va a depender de las condiciones que presenta el cuerpo de agua para cada una y del propio método de captura. Algunas especies requieren hábitats específicos para reproducirse y otras para establecerse. Los sistemas acuáticos, son vulnerables a los cambios ambientales y antrópicos de la zona. Los organismos que viven en el río, en especial los peces, sufren esas alteraciones, en busca de nuevas fuentes de alimento, lugares de reproducción, refugio y condiciones óptimas para su desarrollo.

ESPECIES INDICADORAS

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el monitoreo de peces, es importante mencionar que se mantiene la presencia de las cuatro especies seleccionadas como indicadoras en la línea base (EIA, 2010); *Gobiomorus dormitor* (guabina), *Agonostomus monticola* (lisa de río), *Sicydium altum* (chupapiedra) y *Brycon chagrensis* (sábalo pipón), cuyos resultados de CPUE se resumen en el **Gráfico 3**.

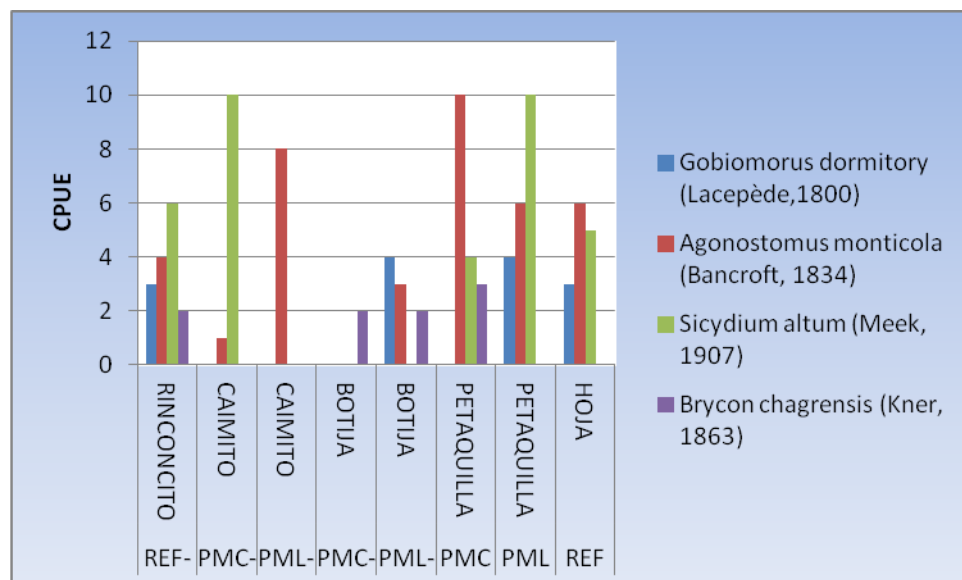


Gráfico 3. Distribución de la abundancia de las especies consideradas de interés especial

B) Estado gonadal de las especies

Hay que tener en cuenta, que durante el monitoreo del año 2020 y, debido a la pandemia del COVID-19, los monitoreos se completaron en el mes de octubre 2020 y marzo 2021, con baja posibilidad de encontrar especies e individuos con un estado gonadal desarrollado. Aún así, las observaciones del estado gonadal de los peces colectados, relacionados con su peso y tallas, nos indican el estado de salud de estos organismos. Relacionado con esto, se ha observado la presencia de las especies centinelas allí donde se pescaron, *Gobiomorus dormitor* en sus diferentes estadios (juveniles, adultos y hembras grávidas), pero principalmente, juveniles de *Sicydium altum*.

Es importante señalar, que el registro de las especies no solo depende de las variables ambientales y condición del ambiente de cada sitio. También en algunas ocasiones, influyen las técnicas de muestreo utilizadas, ya que algunas son más eficientes que otras y se puede registrar una mayor variabilidad de especies. se han relacionado las tallas encontradas con las medidas registradas para los peces adultos por especie, con la finalidad de establecer el estadio en que se encuentra cada individuo y poder determinar la distribución de las poblaciones. Los resultados muestran que al comparar las tallas registradas por especies, la mayor parte de los individuos capturados se encuentran dentro del estadio de juveniles.

Los puntos terminales de los efectos principales que se utilizan para determinar los efectos relacionados con la minería son la edad, condición (o sea, el peso en cualquier longitud), el peso del hígado (ajustado según el peso corporal) y el peso gonadal (ajustado según el peso corporal). Este último es tal vez la métrica más importante, ya que los cambios negativos en la inversión reproductiva de los peces pueden resultar en efectos a nivel de la comunidad.

También hay una cantidad de métricas de apoyo que puede compararse, tales como la fecundidad (o sea, la cantidad de huevos por hembra) y el peso individual de los huevos. En el **Cuadro 17** se resumen las diferentes variables analizadas:

CUADRO 17. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE FECUNDIDAD									
PARÁMETRO	TIPO OBSERVACION	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF- Hoja	REF- Rinconcito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML- Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla	REF-Hoja
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Peso gonadal (gr)	Métrica en titíes hembra	(2)	<0,05	<0,05	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Tamaño hígado	Métricas en todos sexos	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Estructura ósea	Métricas en todos sexos	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Estado salud	Métricas en todos sexos	(2)	NO	NO	NO	NO	NO	(2)	(2)

NOTAS: (1) no se recolectaron peces con estados gonadales maduros, o estructuras óseas e hígados difusos. NO. No presentan anomalías. (2) Pendiente de muestrear.

Las especies centinelas fueron bastante pequeñas y con hígados difusos, por lo que no pudieron determinarse los pesos exactos. Igualmente, la recolección de las estructuras óseas no fue viable para determinar la edad debido a que las temporadas de crecimiento no eran precisas.

En resumen, las observaciones del estado gonadal y de salud de los peces indican una gran diferencia en la madurez de las hembras entre cuencas e incluso entre ríos de la misma cuenca, con escasos desarrollo que no permiten establecer conclusiones.

Por su parte, en el **Cuadro 18** se resumen los principales atributos ecológicos de las especies que de forma potencial se pueden registrar en los ríos afectados o de referencia en el entorno de la Mina, y que serán posteriormente utilizadas en el índice IBI de calidad basado en la presencia de peces y su hábitat.



CUADRO 18. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES ICTICAS

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CATEGORIA DE DIADROMÍA	CATEGORÍA TRÓFICA	ESPECIE EXOTICA	TIPO DE HABITAT	SENSIBLE A ALTERACIÓN
<i>Anguilla rostrata</i> (Lesueur, 1817)	Anguila	Catádromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Brycon petrosus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Brycon chagrensis</i> (Kner, 1863)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Astyanax aeneus</i> (Günther, 1860)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Hyphessobrycon panamensis</i> (Durbin, 1908)	Sardina	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Bryconamericus emperador</i> (Eigenmann & Ogle, 1907)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Roeboides loftini</i> (Lucena, 2011)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Hoplias microlepis</i> (Günther, 1864)	Peje perro	Potomódroma	Carnívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i> (Kner, 1863)	Chogorro	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Sicydium altum</i> (Meek, 1907)	Titi	Anfidromo	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Awaous banana</i> (Valenciennes, 1837)	Arenero	Anfidromo/Catádromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin, 1788)	Guabina	Catádromo	Carnívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Gobiomorus dormitor</i> (Lacepède, 1800)	Guabina	Catádromo	Carnívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Rhamdia laticauda</i> (Kner, 1858)	Barbú	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	Barbú	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios	Baja
<i>Pomadasys croco</i> (Cuvier, 1830)	Ronco	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Media
<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	Róbalo	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Media
<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	Róbalo	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Media
<i>Agonostomus monticola</i> (Bancroft, 1834)	Lisa de río	Anfidromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Joturus pichardi</i> Poey, 1860	Boca chica	Anfidromo	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	Lisa	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Baja
<i>Arcos nudus</i> (Linnaeus, 1758)	Pez sapo	Potomódroma	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja



CUADRO 18. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES ICTICAS

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CATEGORIA DE DIADROMÍA	CATEGORÍA TRÓFICA	ESPECIE EXOTICA	TIPO DE HABITAT	SENSIBLE A ALTERACIÓN
<i>Poecilia mexicana</i> (Kner, 1863)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
<i>Poecilia gillii</i> (Kner, 1863)	Chompipe	Potomódroma	Detritívoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
<i>Poeciliopsis retropinna</i> (Regan, 1908)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
<i>Priapichthys annectens</i> (Regan, 1907)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Trichomycterus striatus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Barbú	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Arroyos/quebradas	Media
<i>Fonchiiichthys uracanthus</i> (Kner, 1863)	Chupapiedra	Potomódroma	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i> (Regan, 1914)	Pez cuchillo	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Arroyos/quebradas	Media
<i>Synbranchus marmoratus</i> (Bloch, 1795)	Anguila	Potomódroma	Detritívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media

4.3. Elementos hidromorfológicos y arraigo

4.3.1. Elementos hidromorfológicos

En el **Cuadro 19** se resumen las principales variables del hábitat fluvial de los ríos estudiados.

CUADRO 19. RESUMEN DE LAS VARIABLES DE HÁBITAT FLUVIAL										
CÓDIGO	RÍOS	ANCHURA MEDIA (m)	PROF. MEDIA (m)	ALTERACIÓN DE LA RIBERA		ESTABILIDAD		SOMBREADO DEL CAUCE (%)		ACCESIBILIDAD AL CAUCE
				MI	MD	MI	MD	MI	MD	
REF-Rinconcito	Rinconcito	12	0,5	No alterada	No alterada	Muy buena	Muy buena	70	50	Accesible
PMC-Caimito	Rio Del Medio	22	1-2	No alterada	No alterada	Muy buena	Muy buena	30	20	Accesible
PML-Caimito	Caimito	65	1-3	No alterada	No alterada	Buena	Buena	30	20	Poco accesible
PMC-Botija	Botija	8	0,2-0,6	No alterada	No alterada	Buena	Buena	30	40	Accesible
PML-Botija	San Juan	80-100	1-2	No alterada	No alterada	Buena	Buena	20	15	Accesible margen derecha
PMC-Petaquilla	Petaquilla	10	0,5	No alterada	Parcialmente Alterada	Buena	Regular	10	90	Accesible margen derecha
PML-Petaquilla	Petaquilla	25	0,5	No alterada	Parcialmente Alterada	Buena	Regular	20	80	Accesible margen derecha
REF-Hoja	Hoja	12	0,4	Parcialmente Alterada	No alterada	Buena	Buena	10	80	Accesible margen izquierda



Estado del cauce y las riberas del río Rinconcito (foto izquierda) y ríos Caimito en San Benito.

La valoración de la diversidad de hábitats y el estado de la vegetación de ribera son esenciales para interpretar adecuadamente los indicadores biológicos, como los macroinvertebrados. Así, cuando de forma natural los ríos presentan una baja diversidad de sustratos y, por consiguiente, también de hábitats disponibles para la flora o la fauna acuáticas, las comunidades biológicas pueden estar empobrecidas sin que haya ninguna causa antrópica (Prat et al. 2004). Estas variables serán de utilidad en la valoración del estado hidromorfológico de cada sitio, a partir de los índices QBR-PAN e IHF-PAN que se detallan en el apartado de valoración del estado ecológico.

4.3.2. Arraigo

En el **Cuadro 20** y **Gráfico 4** se resumen los porcentajes de los diferentes componentes del sustrato analizado en el estudio granulométrico de cada sitio, considerando el peso bruto en cada fracción.

CUADRO 20. PORCENTAJE (%) DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL SUSTRATO									
DIÁMETRO DEL TAMIZ	TIPO DE SUSTRATO MAYORITARIO	SITIOS DE MONITOREO							
		REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-PETAQUILLA	PML-PETAQUILLA	REF-HOJA
		Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla	Hoja
4 mm	Grava-Grava fina	28,60	26,73	24,26	30,53	39,54	22,48	30,36	37,25
2 mm	Grava fina	25,93	24,86	23,85	25,84	37,21	22,59	24,06	34,34
1 mm	Arena gruesa	23,31	22,92	23,62	22,65	16,98	20,30	24,02	21,20
500 µm	Arena gruesa	13,18	17,49	22,84	19,26	4,39	21,60	15,49	6,50
250 µm	Arena media-fina	8,42	7,27	5,10	0,93	1,14	4,59	0,72	0,97
125 µm	Arena fina	0,50	0,61	0,28	0,65	0,59	0,25	0,38	0,46
63 µm	Arena muy fina-limo	0,08	0,12	0,05	0,15	0,15	0,03	0,07	0,06

(1) Según Sistema International.

Para el estudio del arraigo, en los hábitats de rápidos escogidos para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos se insertó un tubo de núcleo a 10 cms. del sustrato, lo que corresponde a la profundidad del muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Luego se selló el fondo del núcleo y se sacó el sustrato del río, conservándose en bolsas de plástico refrigeradas hasta su análisis.

En el laboratorio se lavó el sustrato en una serie de tamices, separando el sustrato la arena muy gruesa o grava (4, 2 y 1 mm), arena gruesa (500 μm), arena mediana (250 μm), arena fina (150 μm), arena muy fina (125 μm) y limos (63 μm). Se determinó el peso de cada categoría de tamaño y su porcentaje con respecto al total del peso, variable para cada caso.

Las fracciones de arena son las categorías de interés primordial. Si los estudios de seguimiento en el tiempo demuestran que ha habido un aumento significativo en las fracciones de arena en los mismos lugares, ello indicará que el arraigo ha aumentado. Los cambios de las cantidades de materiales de grano fino también pueden utilizarse como una medida de apoyo para la interpretación de cualquier cambio en la estructura de la comunidad de invertebrados.

En el gráfico adjunto se representan porcentualmente cada fracción del sustrato analizado en función del peso de cada muestra.

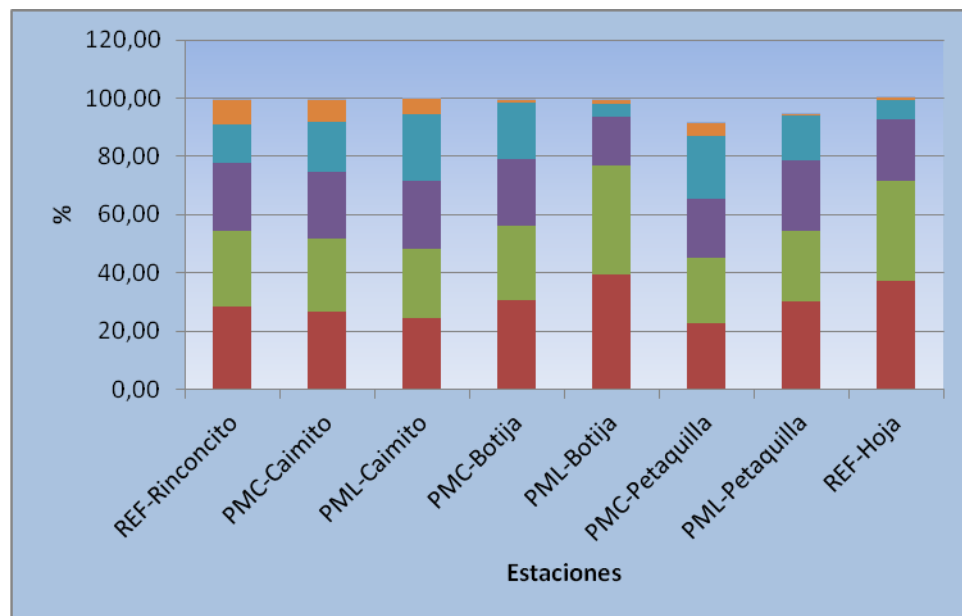


Gráfico 4. Distribución porcentual de las arenas en los diferentes sitios de muestreo por peso muestral.

El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 6% en la mayor parte de los cauces estudiados. Unicamente el río Rinconcito y el río Botija cercano presentan porcentajes superiores de arenas medianas a muy finas, aunque dentro de rangos considerados como normales para ríos como los estudiados.

Por consiguiente, se puede afirmar que las condiciones de arraigo en los sitios estudiados no se encuentran afectados por aportes antrópicos, con una composición del sedimento propia de ríos subtropicales de la vertiente caribeña de Panamá.

5. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 21**.

CUADRO 21. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE				
Subcomponente del Programa	Indicador	Frecuencia de Medición	Frecuencia de informes	Período de toma de datos (1)
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies de macro-invertebrados acuáticos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Índice de diversidad de Simpson, Bray Curtis e índice de similitud, EPT taxa y abundancia de macro-invertebrados acuáticos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Condición física de especies de peces indicadoras	Anual	Anual	abril- mayo
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés es son los metales pesados.	Anual	Anual	abril- mayo

NOTAS (1). Debido a las limitaciones y restricciones impuestas por la pandemia del COVID-19, los monitoreos se han completado en el mes de octubre de 2020 y marzo de 2021.

Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012 y monitoreos de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y presente monitoreo 2020⁶.

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 22**.

CUADRO 22. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES	
SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 23**.

Se destaca el descenso de la tendencia en los índices de macroinvertebrados en todos los ríos, en el año 2018, debido principalmente a la metodología de muestreo empleada este año con el cilindro tipo Hess en comparación con la red de mano estándar. Con el cilindro se obtuvieron menores capturas y, por tanto, valores más bajos de los diferentes índices estructurales de las comunidades de macroinvertebrados.

Igualmente, durante el presente año 2020 no se han registrados descensos significativos ($\pm 10\%$) de ninguno de los indicadores. Las poblaciones de macroinvertebrados y peces han variado relativamente poco, a pesar de haberse completado en épocas diferentes a las de otros años.

En conclusión, las condiciones analizadas han sufrido variaciones asociadas principalmente con las técnicas de monitoreo y la propia variabilidad estacional de las poblaciones biológicas consideradas, no apreciándose por el momento una clara tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de construcción de la mina.

En los **Gráficos 5 y 6** se incluye la evolución temporal de los indicadores seleccionados.

⁶ La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.

CUADRO 143. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

INDICADOR AMBIENTAL	AÑO DE MONITOREO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza de macrobentos)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
	2018	↓	↓	→	↓	↓	↓	↓	↓
	2019	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	2020	(4)	→	→	→	→	→	(4)	(4)
INDICADOR 2 (Indíces del macrobentos)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	↑	↑
	2018	↓	↓	→	→	→	↓	↓	↓
	2019	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑
	2020	(4)	→	→	→	→	→	(4)	(4)
INDICADOR 3 (Condicion física de especies de peces indicadoras)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)

CUADRO 143. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

INDICADOR AMBIENTAL	AÑO DE MONITOREO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
	2018	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019	→	→	→	→	→	↓	→	→
	2020	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 4 (Condiciones físico-químicas y metales en agua y metales en sedimento)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	→	→
	2018	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 5 (Índice mg de metales/Kg de tejido en peces)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
	2018	→	→	→	→	→	→	→	→

CUADRO 143. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

INDICADOR AMBIENTAL	AÑO DE MONITOREO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
	2019	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020	→	→	→	→	→	→	→	→

NOTAS: (1). No se obtuvieron muestras en el año 2016 debido al elevado caudal y turbidez del río Del Medio en PMC-Caimito en la época del muestreo. (2) No se dispone de información para el año 2015, debido a que este sitio se empezó a monitorear en el año 2016. (3) No se muestrearon los sitios PMC-Caimito y PML-Caimito en el año 2015.

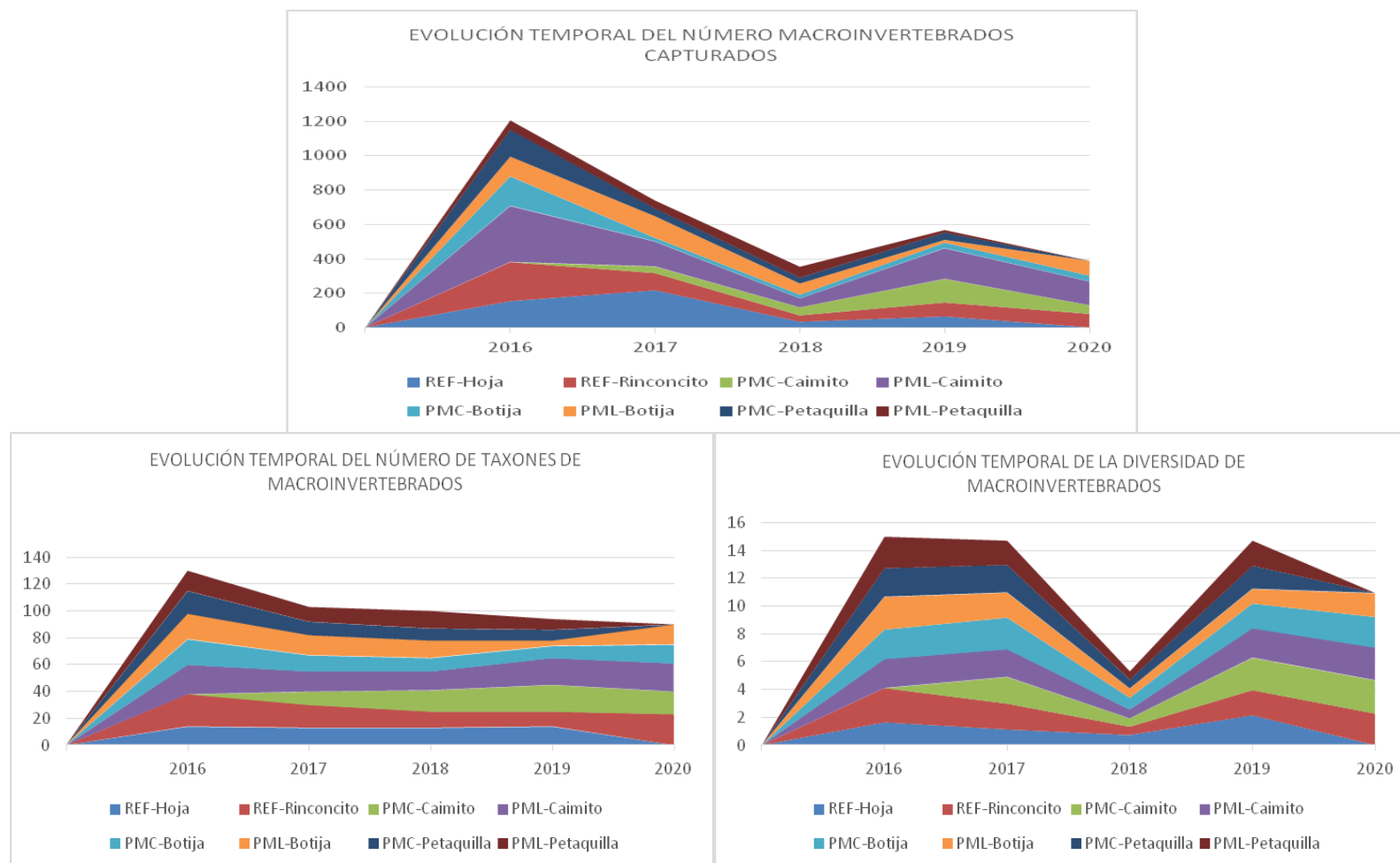


Gráfico 5. Representación gráfica de la tendencia temporal (años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020) de los indicadores de densidad, riqueza e índice de diversidad en el macrobentos en los diferentes sitios de monitoreo (en el eje de ordenadas se incluyen valores acumulativos).

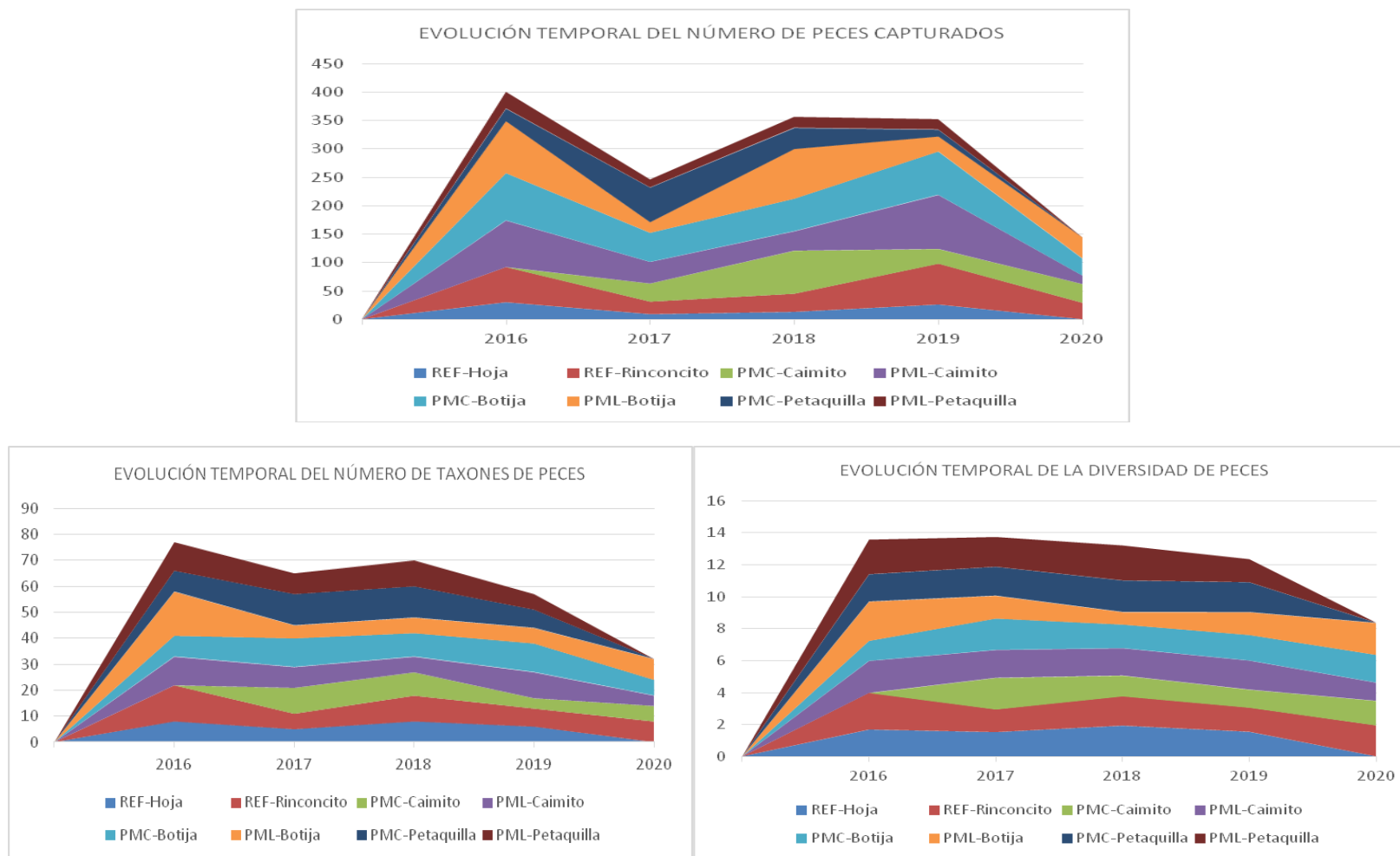


Gráfico 6. Representación gráfica de la tendencia temporal (años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020) de los indicadores de densidad, riqueza e índice de diversidad de peces en los diferentes sitios de monitoreo (en el eje de ordenadas se incluyen valores acumulativos).

6. ESTADO ECOLÓGICO

6.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales. Para evaluar el estado ecológico de un agua se emplean tres tipos de elementos (físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos), que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (densidad de individuos, número de taxones, índices de diversidad, etc), para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos o características del medio en el que habitan ("especies indicadoras") y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente y seguir en el tiempo (tendencias) el impacto ambiental de las actividades humanas.

6.2. Índices de calidad del agua. Metodología y resultados

6.2.1. Macroinvertebrados

Para evaluar la calidad biológica del agua a partir del grupo de macroinvertebrados, se ha empleado el índice BMWP/PAN desarrollado para Panamá por el Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). En el **Cuadro 24** se muestran las clases de calidad para los valores que puede tomar el índice BMWP/PAN de macroinvertebrados.

CUADRO 24. CLASES DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/PAN		
VALOR INDICE	NIVEL DE CALIDAD	ESTADO O CLASE DE CALIDAD
>150	Aguas de calidad excelente	MUY BUENA O EXCELENTE
78-149	Aguas de buena calidad	BUENA
59-77	Aguas de calidad regular	MODERADA O REGULAR
39-58	Aguas contaminadas	DEFICIENTE O CONTAMINADA
20-38	Aguas muy contaminadas	MALA O MUY CONTAMINADA
<19	Agua extremadamente contaminada	CRÍTICA O EXTREMADAMENTE CONTAMINADA

FUENTE: Protocolo de biomonitorio para la vigilancia de la calidad del agua en afluentes superficiales de Panamá. Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud. 2019.

Sobre la base de aplicar el índice BMWP/PAN a los datos de macroinvertebrados, en el **Cuadro 25** se incluyen los resultados obtenidos y el estado de calidad para el presente monitoreo.

CUADRO 25. NIVEL DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/PAN				
CÓDIGO SITIO DE MUESTREO	RIO	VALOR DEL ÍNDICE BMWP-PAN	SIGNIFICADO O NIVEL DE CALIDAD	ESTADO DE CALIDAD
REF-Rinconcito	Rinconcito	92	Aguas de buena calidad	BUENO
PMC-Caimito	Del Medio	62	Aguas de calidad regular	MODERADO
PML-Caimito	Caimito	76	Aguas de calidad regular	MODERADO
PMC-Botija	Botija	61	Aguas de calidad regular	MODERADO
PML-Botija	San Juan	63	Aguas de calidad regular	MODERADO
PMC-Petaquilla	Petaquilla	101	Aguas de buena calidad	BUENO
PML-Petaquilla	Petaquilla	63	Aguas de calidad regular	MODERADO
REF-Hoja	Hoja	75	Aguas de calidad regular	MODERADO

Como se puede comprobar, en el presente monitoreo, con excepción del río Rinconcito y Petaquillo cercano que cuentan con calidad buena, el resto de sitios presenta una calidad regular o moderada, aunque con una buena diversidad de especies de macroinvertebrados.

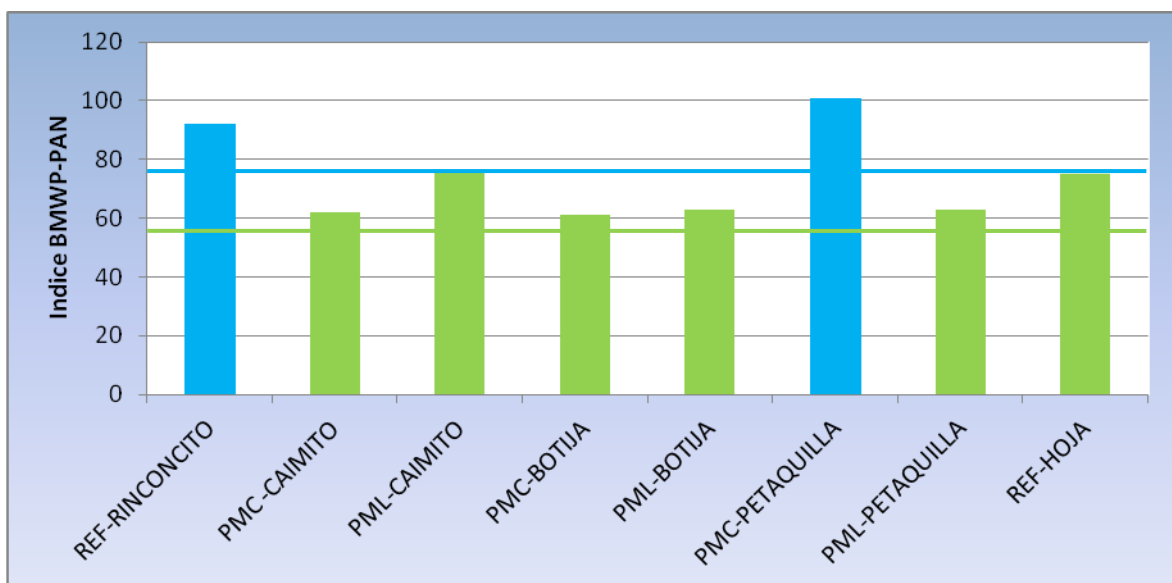


Gráfico 7. Comparativa del índice BMWP/PAN entre sitios de muestreo.
Se indica el límite de clase BUENO (en azul claro) y MODERADO (en verde)

6.2.2. Diatomeas bentónicas (perifiton)

Teniendo en cuenta la composición y abundancia de valvas de las diatomeas bentónicas, se ha procedido al cálculo del índice IPS (Specific Polluosensitivity Index, CEMAGREF, 1982⁷), de amplia aceptación científica mundial para determinar la calidad del agua a partir de la composición del perifiton o las diatomeas bentónicas. Para su cálculo, se ha empleado el programa OMNIDIA 6.0⁸.

En el **Cuadro 26** se muestran las clases de calidad para los valores que puede tomar el índice IPS para valorar el estado de la calidad del agua a partir del perifiton.

CUADRO 26. CLASES DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE IPS		
VALOR INDICE	NIVEL DE CALIDAD	ESTADO O CLASE DE CALIDAD
>17	Aguas muy limpias	MUY BUENA
13-17	Aguas con buena calidad	BUENA
9-13	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
5-9	Aguas muy contaminadas	DEFICIENTE
<5	Aguas fuertemente contaminadas	MAL

Sobre la base de aplicar el índice IPS a los datos de perifiton, en el **Cuadro 27** se incluyen los resultados obtenidos y las clases de calidad.

CUADRO 27. NIVEL DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE IPS DE PERIFITON				
CÓDIGO SITIO DE MUESTREO	RIO	VALOR DEL ÍNDICE IPS	SIGNIFICADO O NIVEL DE CALIDAD	ESTADO DE CALIDAD
REF-Rinconcito	Rinconcito	15,4	Aguas con buena calidad	BUENA
PMC-Caimito	Del Medio	13,0	Aguas con buena calidad	BUENA
PML-Caimito	Caimito	16,4	Aguas con buena calidad	BUENA
PMC-Botija	Botija	18,3	Aguas con muy buena calidad	MUY BUENA
PML-Botija	San Juan	14,6	Aguas con buena calidad	BUENA
PMC-Petaquilla	Petaquilla	11,5	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
PML-Petaquilla	Petaquilla	15,7	Aguas con buena calidad	BUENA
REF-Hoja	Hoja	15,4	Aguas con buena calidad	BUENA

⁷ CEMAGREF. 1982. *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon-A.F. Bassin Rhône-Méditerranée- Corse. 218 pp.

⁸ <http://omnidia.fr/en/order-omnidia/>

Como se puede comprobar, con excepción del río Botija en San Benito que presenta calidad MUY BUENA, el resto de los ríos presentan un estado de calidad en cuanto a la presencia de especies indicadoras de estado BUENO, con escasas diferencias entre ellos y con calidades de aguas muy limpias.

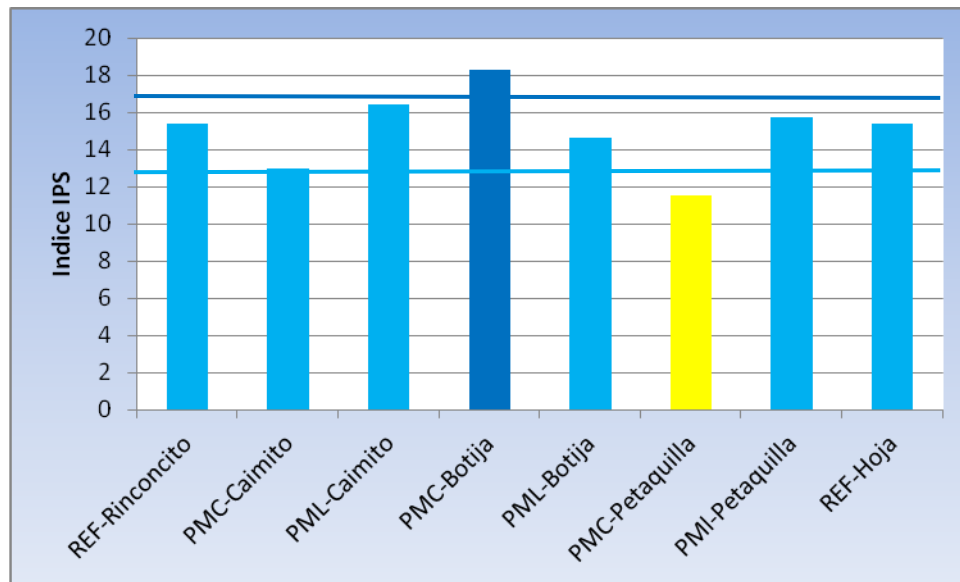


Gráfico 8. Comparativa del índice IPS entre sitios de muestreo.
Se indica el límite de clase BUENO (13) y MUY BUENO (17).

6.2.3. Peces

Para evaluar la calidad del ecosistema fluvial a través de los peces, se ha empleado el índice IBI (Índice de Integridad Biológica) de amplia aceptación científica en todo el mundo (Karr, 1991). El índice se ha diseñado y adaptado a partir de atributos básicos de las comunidades de peces presentes en ríos del Caribe panameño: riqueza y composición de especies, estructura trófica y condición y abundancia de los peces. Para ello, se han considerado, en primer lugar, el número de especies presentes, número de individuos (como CPUE) y su diversidad (índice Shannon-Weaver). En segundo lugar, los atributos ecológicos de cada especie, así como su estado de salud (proporción de especies con anomalías).

Para cada uno de los criterios, el investigador asigna un valor a la muestra: un signo menos (1), un cero (3), o un signo más (5). Este enfoque propuesto por Karr (1981), permite la flexibilidad para acomodar la variación evolutiva y las historias ecológicas de los peces entre las cuencas. El valor final del índice IBI, se obtiene por suma de cada uno de los resultados de los criterios.

En el **Cuadro 28** se resume el estado de calidad a partir de los valores que puede alcanzar el índice IBI teniendo en cuenta los parámetros analizados.

CUADRO 28. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IBI DE PECES		
VALOR IBI	SIGNIFICADO	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
>40	Comparables a las mejores condiciones naturales, sin influencia del hombre; todas las especies nativas esperadas para el hábitat o tamaño del cuerpo de agua presentes, incluyendo las formas intolerantes; estructura trófica balanceada.	MUY BUENA
30-40	Riqueza de especies un tanto por debajo de lo esperado, debido especialmente a la pérdida de las formas intolerantes; algunas especies con distribución de la abundancia o de tamaño inferior al óptimo; la estructura trófica muestra algunos signos de estrés.	BUENA
20-30	Signos de deterioro adicional, incluye pocas especies intolerantes; estructura trófica más alterada (p. ej., aumento en la frecuencia de omnívoros); las mayores clases de edad de carnívoros pueden ser raras.	MODERADA
10-20	Dominada por omnívoros, especies tolerantes a la contaminación y de hábitat generalistas, pocos carnívoros; tasas de crecimiento y factores de condición disminuidos; presencia de formas híbridas y peces con enfermedades.	DEFICIENTE
<10	Pocos peces presentes, la mayoría introducidos o formas muy tolerantes; los híbridos son comunes; parásitos y enfermedad frecuentes, los daños en las aletas y otras anomalías (tumores) son comunes. Menores valores toman los sitios con ausencia de peces.	MALA

Teniendo en cuenta la metodología de cálculo del índice IBI, los resultados obtenidos para este índice en el conjunto de sitios de muestreo se muestran en el **Cuadro 29**. Como se puede comprobar, todos los sitios presentan calidades BUENAS, con excepción del sitio PML-Caimito que es MODERADA, con una menor diversidad y densidad de peces.

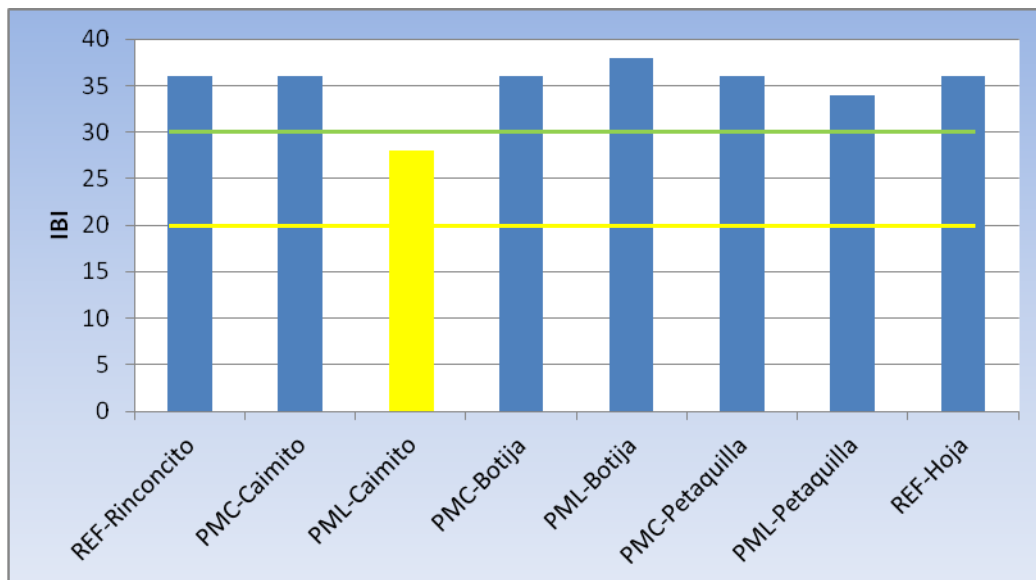


Gráfico 9. Comparativa del índice IBI entre sitios de muestreo.
Se indica el límite de clase BUENO (30-40) y MODERADO (20-30).

CUADRO 29. RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO DE CALIDAD
A PARTIR DEL INDICE IBI DE PECES

CRITERIOS	VALORES	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla	REF-Hoja
		Rinconcito	Caimito	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla	Hoja
Número de especies	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	1	3	3	3	1	3
Número de especies sensitivas	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	1	3	3	3	3	3
Número de especies bénticas	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de especies exóticas	1 alta; 3 media; 5 baja	5	5	5	5	5	5	5	5
Índice de diversidad (S-W)	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	1	3	5	3	3	3
Proporción de omnívoros	<20% 5 alta; 20-40% 3 media; >40 1 baja	5	5	5	5	5	5	5	5
Proporción de detritívoros	<20% 5 alta; 20-40% 3 media; >40 1 baja	3	3	3	3	3	3	3	3
Proporción de carnívoros tope	<1% 1 baja; 20-40% 3 media; >5 5 alta	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de individuos	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	1	3	3	3	3	3
% de peces con anomalías	1 alta; 3 media; 5 baja	5	5	5	5	5	5	5	5
VALOR IBI		36	36	28	36	38	36	36	34
ESTADO CALIDAD		BUENA	BUENA	MODERADA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA

6.2.4. Elementos hidromorfológicos

Se han empleado dos índices adaptados a las condiciones limnológicas de Panamá para evaluar la calidad hidromorfológica de los cauces: índice QBR-PAN de calidad de ribera e IHF-PAN de hábitat fluvial⁹. Para el cálculo del índice QBR-PAN se determina, en primer lugar, el tipo morfológico del cauce, a través del tipo de desnivel de la zona de ribera, la presencia de islas en el lecho y la capacidad de soportar vegetación de ribera. Una vez establecido el tipo morfológico, se da puntuación a cada uno de las siguientes variables:

- Grado de cobertura de la zona de ribera.
- Estructura de la cobertura.
- Calidad de la cobertura.
- Grado de naturalidad del canal fluvial.

Cada uno de estos cuatro bloques puede adquirir una puntuación desde 0 a 25 puntos. El valor del QBR-PAN se obtendrá por suma de estos cuatro bloques, de modo que dicho valor estará comprendido entre 0 y 100 puntos. Los valores obtenidos que se han comparado con los valores de referencia establecidos para las aguas de Panamá, como se muestra en el **Cuadro 30**.

CUADRO 30. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE QBR-PAN		
VALOR QBR-PAN	ESTADO O CLASE DE CALIDAD	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
≥ 95	Bosque de ribera sin alteraciones y natural, calidad muy buena	MUY BUENA
75 – 90	Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	BUENA
55 – 70	Inicio de alteración importante, calidad intermedia	MODERADA
30 – 50	Alteración fuerte, calidad deficiente	DEFICIENTE
≤ 25	Degradación extrema, calidad mala	MALA

El índice IHF-PAN se basa en siete bloques que ofrecen una matriz de puntuación con la que se determina la calidad del hábitat. Cada uno de los siete bloques cuantifica atributos diferentes del espacio a analizar:

- Inclusión de rápidos - sedimentación pozas.
- Frecuencia de rápidos.
- Composición del sustrato.
- Regímenes de velocidad/profundidad.
- Porcentaje de sombra en el cauce.
- Cobertura y diversidad de vegetación acuática.
- Elementos heterogeneidad.

⁹ Los índices QBR-PAN e IHF-PAN fueron desarrollados dentro del proyecto de la Línea base del estado de calidad de las aguas de la ciudad y Bahía de Panamá del programa de Saneamiento de Panamá (Mariño et al., 2015) y adaptados a las aguas de ríos de baja altitud en las cuencas hidrográficas de Panamá.

Los valores obtenidos que se han comparado con los valores de referencia establecidos para las aguas de Panamá. En el **Cuadro 31**, se recoge la valoración del índice IHF-PAN.

CUADRO 31. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IHF-PAN		
VALOR IHF-PAN	ESTADO O CLASE DE CALIDAD	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
≥ 72	Hábitat fluvial muy diverso. Calidad muy buena	MUY BUENA
50 – 71	Hábitat fluvial diverso. Calidad buena	BUENA
40 – 49	Hábitat fluvial escasamente diverso. Calidad moderada	MODERADA
30 – 39	Pérdida significativa de heterogeneidad. Calidad deficiente	DEFICIENTE
≤ 30	Hábitat muy homogéneo. Calidad mala	MALA

En el **Cuadro 32** se recogen los resultados de los mencionados índices y estado global.

CUADRO 32. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IHF-PAN				
CÓDIGO	RÍOS	IHF	QBR	ESTADO DE CALIDAD GLOBAL (1)
REF-Rinconcito	Rinconcito	90	100	MUY BUENA
PMC-Caimito	Del Medio	100	100	MUY BUENA
PML-Caimito	Caimito	80	95	MUY BUENA
PMC-Botija	Botija	85	100	MUY BUENA
PML-Botija	San Juan	85	100	MUY BUENA
PMC-Petaquilla	Petaquilla	79	55	BUENA
PML-Petaquilla	Petaquilla	86	55	BUENA
REF-Hoja	Hoja	100	70	MUY BUENA

NOTA (1). El estado de calidad global se ha obtenido con el peor estado de calidad de cada índice.

El índice IHF-PAN resulta un indicador muy fiable, por cuanto sintetiza los datos de diferentes elementos que estructuran el hábitat fluvial. En este caso no se trata de un índice tan estático como el QBR-PAN, sino que viene directamente influenciado por el caudal. Éste condiciona elementos como la variabilidad de macrohábitats presentes, regímenes de velocidad-profundidad, frecuencia de rápidos, variedad y proporción de granulometrías, o la presencia de determinados elementos que confieren heterogeneidad al cauce (hojarasca, palos, etc). Los resultados obtenidos de la aplicación de los dos índices indican que el estado de calidad de todos los sitios, con excepción de los Petaquilla, se encuentra clasificado como MUY BUENO. Estos resultados son los esperables, ya que es poco probable que varíen año en año al no haber alteraciones o impactos significativos en las condiciones hidromorfológicas y en el hábitat de los cauces estudiados que hayan podido alterar los valores de las variables empleadas en los dos índices. Solo se han observado pequeñas alteraciones (corte de vegetación, árboles caídos, etc), que no son suficientes para alterar los valores de los índices.

6.3. Valoración del estado ecológico

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los índices de cada elemento o indicador, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto–, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Commission, 2003).

De acuerdo con esta metodología, las aguas superficiales se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores hidromorfológicos, biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo.

Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, como en las hidromorfológicas del cauce (ver esquema **Figura 2**).

Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado¹⁰. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En este esquema, cuando los indicadores biológicos ofrecen un estado por debajo de bueno, la clasificación del estado ecológico final vendría dada por estos mismos indicadores biológicos. En estos casos, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de macroinvertebrados al ser los más representativos de un río.

Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas e hidromorfológicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

¹⁰ Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.

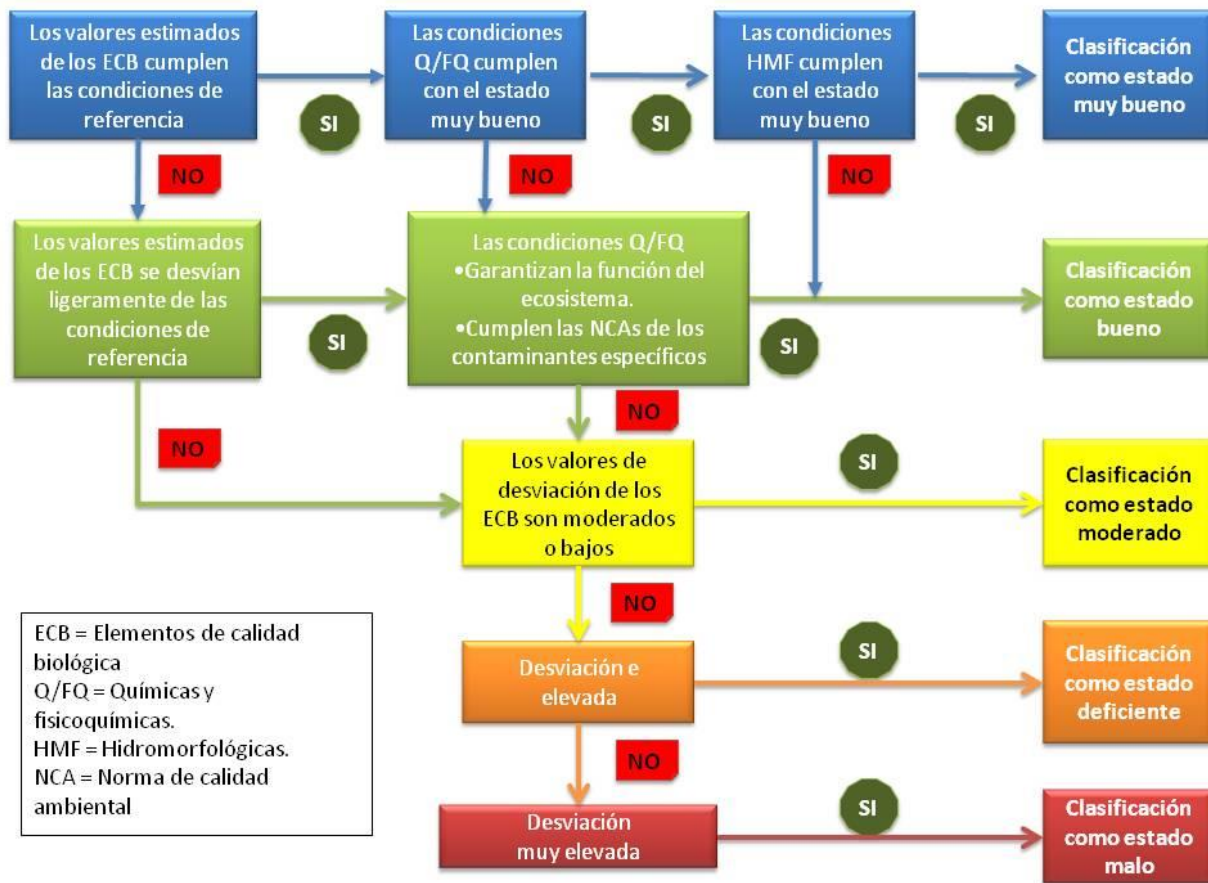


Figura 2. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

De forma individual para elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio “*uno fuera, todos fuera*”: Se ha denominado a este estado ecológico “restrictivo” como EE_{rest} , de tal manera que:

$$EE_{rest} = \text{Mínimo } (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS
 - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
 - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
 - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.
- QEs BIOLÓGICOS
 - Calidad BM. Composición y abundancia del macrobentos. Índice BMWP/PAN
 - Calidad BD. Composición y clases de calidad índice IPS de diatomeas bentónicas
 - Calidad BP. Composición y clases de calidad del índice IBI de peces
- QEs HIDROMORFOLÓGICOS
 - Calidad H. Composición y abundancia de la vegetación de ribera. Índice QBR-PAN y evaluación del hábitat fluvial mediante el Índice IHF-PAN.

En el **Cuadro 33** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final establecido para los diferentes ríos. Ha quedado clasificados finalmente como BUENO el río Rinconcito (sitios de referencia) y con estado ecológico MODERADO el resto de sitios de monitoreo.

Cabe señalar, el peso de los macroinvertebrados en los elementos biológicos, que condiciona el estado ecológico a MODERADO según el principio “*uno fuera, todos fuera*”, a pesar de que el resto de indicadores biológicos (peces y perifiton) pueden dar mejores resultados. Los resultados de los análisis físico-químicos indican unas BUENAS condiciones de la calidad del agua, con MODERADAS en el caso de los análisis de metales en sedimentos.



CUADRO 33. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS RÍOS. AÑO 2020

CODIGO SITIO MUESTREO	RÍO	CALIDAD FQ	CALIDAD QA	CALIDAD QS	CALIDAD BM	CALIDAD BD	CALIDAD BP	CALIDAD H	ESTADO ECOLÓGICO
REF-Rinconcito	Rinconcito	BUENA	BUENA	MODERADA	BUENO	BUENA	BUENA	MUY BUENA	BUENO
PMC-Caimito	Del Medio	BUENA	BUENA	MODERADA	MODERADO	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MODERADO
PML-Caimito	Caimito	BUENA	BUENA	MODERADA	MODERADO	BUENA	MODERADA	MUY BUENA	MODERADO
PMC-Botija	Botija	BUENA	BUENA	MODERADA	MODERADO	MUY BUENA	BUENA	MUY BUENA	MODERADO
PML-Botija	San Juan	BUENA	BUENA	MODERADA	MODERADO	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MODERADO
PMC-Petaquilla	Petaquilla	BUENA	BUENA	MODERADA	BUENO	MODERADA	BUENA	BUENA	MODERADO
PML-Petaquilla	Petaquilla	BUENA	BUENA	MODERADA	MODERADO	BUENA	BUENA	BUENA	MODERADO
REF-Hoja	Hoja	BUENA	BUENA	MODERADA	MODERADO	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MODERADO

NOTAS: Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez. Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados. Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados. Calidad BM. Composición y abundancia del macrobentos. Índice BMWP/PAN. Calidad BD. Composición y clases de calidad índice IPS de las diatomeas bentónicas. Calidad BP. Composición y clases de calidad del índice IBI de peces. Calidad H. Composición y abundancia de la vegetación de ribera. Índice QBR-PAN y evaluación del hábitat fluvial mediante el Índice IHF-PAN.



7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los principales resultados y conclusiones obtenidas en el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce en MINERA PANAMA, se resumen en los siguientes puntos:

- El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.
- De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2012 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina.
- Como objetivo complementario, este año 2020 se ha continuado con la valoración del “estado ecológico” de cada uno de los sitios de muestreo –iniciado en el año 2016-, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:
 - Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua, sedimentos y biota.
 - Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
 - Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).
- Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el “Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y Del Medio marino de la Bahía de Panamá” del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).
- Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el muestreo y análisis de los elementos ambientales considerados y similares a los empleados en monitoreos de años anteriores.
- Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.
 - Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



- Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: "Soil Clean-Up Act.1983".
 - Para el contenido de metales en peces y camarones, se han empleado diferentes valores de referencia recogidos en normativas internacionales y que ha sido elaborado por expertos de MINERA PANAMÁ.
 - El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.
-
- Para el monitoreo del año 2020 se emplearon los mismos sitios de muestreo que en años anteriores, incluyendo un punto adicional en el río Petaquilla en punto lejano (PML Petaquilla) iniciado en el año 2016. Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto e incluyen:
 - Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio o Uvero (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, que reciben las aguas de descarga de relaves.
 - Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, que recibe las descargas, y más alejado el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.
 - Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano que recibe descargas de los tajos Colina y Valle Grande y minería ilegal (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla).
 - Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no afectados por las actividades del proyecto.
 - De los resultados físico-químicos de calidad de aguas se destaca que los ríos se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD). Los sólidos en suspensión han sido bajos en todos los sitios, cumpliéndose con el límite de 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.
 - Los resultados analíticos de metales pesados (disueltos y totales) en agua incluidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008 en agua (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en todos los sitios. No se ha valorado, ya que se trata de un valor de referencia no legal.



- Para metales pesados en sedimentos, el cobre incumple en todos los sitios de monitoreo el límite de efectos bajos (LEB) de la normativa canadiense de referencia. Para el cromo, se incumple el LEB en los sitios Caimito cercano y en los dos puntos en el río Botija. Para todos los sitios de muestreo, el resto de metales en sedimentos cumple con el LEB.
- Para el contenido de metales pesados en peces, se destaca que el arsénico, cadmio, cinc y selenio (excepto en PMC-Caimito) se encuentran por encima del rango bajo de los valores de referencia, no alcanzando el rango alto de los mismos. Por su parte, el resto de metales presentan concentraciones por debajo del valor bajo de referencia. Al no existir valores de referencia legales en Panamá, no se puede establecer el grado de cumplimiento legal para metales pesados en peces.
- Al igual que sucedió en otros muestreos (Ecometrix, 2012), las concentraciones de metales en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, sin un claro modelo de comportamiento estacional o temporal.
- Para los macroinvertebrados se han encontrado 14-26 taxones que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones Emiliidae, Leptophlebiidae, Palaemonidae (especialmente en la estación PML-Caimito) y Thiaridae. El grupo de los Chironomidae está bien representado, aunque con densidades moderadas a bajas. La estación con densidades más bajas de macroinvertebrados ha sido la del río Botija (PMC-Botija) y con mayores densidades en el río Caimito (PML-Caimito).
- Los monitoreos de perifiton y diatomeas indican que la muestra de Caimito Lejano presenta la mayor riqueza de taxones (42), seguida de Rinconcito (28), Caimito Cercano (22) y río San Juan (25); en menor medida, la estación Botija Cercano en San Benito cuenta con 8 taxones. Por su parte, el número de valvas ha sido muy similar en los sitios Rinconcito, PML-Botija y PML-Caimito, siendo menor en PMC-Caimito y más elevado en PMC-Botija. Por su parte, en los monitoreos de marzo de 2021 se registró una menor densidad o número de valvas, aunque con un número de taxones similares, debido principalmente a la época del año muestreada.
- En relación a la fauna íctica, se han registrado un número variable de taxones, con un máximo de 8 en los ríos Rinconcito y San Juan y un mínimo de 4 en el río Caimito (sin considerar las migradoras). Las densidades también han sido muy variables, con máximos en el río San Juan y un mínimo en el Caimito lejano. En consonancia, las diversidades han variado de 1,14 bits en el río Caimito lejano y 2,01 bits en el San Juan.
- Al igual que otros años, las especies ícticas registradas durante los monitoreos forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde factores tales como la altitud, tipología del río y la temperatura del agua condicionan su presencia. En general, siguen el patrón normal de distribución de las especies en los ríos



- subtropicales, es decir, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad.
- Las especies de peces y macroinvertebrados registradas durante el monitoreo forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde factores tales como la altitud, tipología del río y la temperatura del agua condicionan su presencia. En general, siguen el patrón normal de distribución de las especies en los ríos subtropicales, es decir, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas.
 - Aunque la valoración hidromorfológica y del hábitat fluvial de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla lejano no se han observado durante este período mayores alteraciones puntuales de las riberas en la margen derecha e izquierda debido a extracciones de minería artesanal y en el río Botija por corta de la vegetación natural.
 - El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Por consiguiente, se puede afirmar que las condiciones de arraigo en los sitios estudiados no se encuentran afectados por aportes antrópicos, con una composición del sedimento propia de ríos subtropicales de la vertiente caribeña de Panamá.
 - Una vez calculados los indicadores de estado de calidad para cada uno de los elementos físico-químicos (aguas, sedimentos y biota), biológicos e hidromorfológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto-, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Commission, 2003).
 - El estado ecológico se define como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales. Se establecen cinco clases de estado ecológico, en función del grado de alteración de la masa de agua respecto a sus condiciones de referencia: MUY BUENO, BUENO, MODERADO, DEFICIENTE Y MALO.
 - Ha quedado clasificados finalmente como BUENO el río Rinconcito (sitio de referencia) y con estado ecológico MODERADO el resto de sitios de monitoreo. Cabe señalar, el peso de los macroinvertebrados en los elementos biológicos, que condiciona el estado ecológico a MODERADO según el principio “*uno fuera, todos fuera*”, a pesar de que el resto de indicadores biológicos (peces y perifiton) pueden dar mejores resultados. Los resultados de los análisis físico-químicos indican unas BUENAS condiciones de la calidad del agua, con MODERADAS en el caso de los análisis de metales en sedimentos.



- Además de la valoración del estado ecológico, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad, se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA.
- Con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012.
- La tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base del año 2012, años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y el presente monitoreo 2020 indican variaciones poco significativas entre los mismos, manteniéndose similares condiciones con respecto a la línea base.
- En este sentido, se destaca que las condiciones físico-químicas y biológicas analizadas han variado muy poco con respecto al año 2012 -con excepción de variaciones atribuibles a causas ajenas al posible impacto de la mina y debidas a la variabilidad intrínseca de las comunidades biológicas estudiadas-, no apreciándose por el momento una tendencia hacia malas condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) o estados ecológicos de tipo malo asociados con las actividades de la mina.

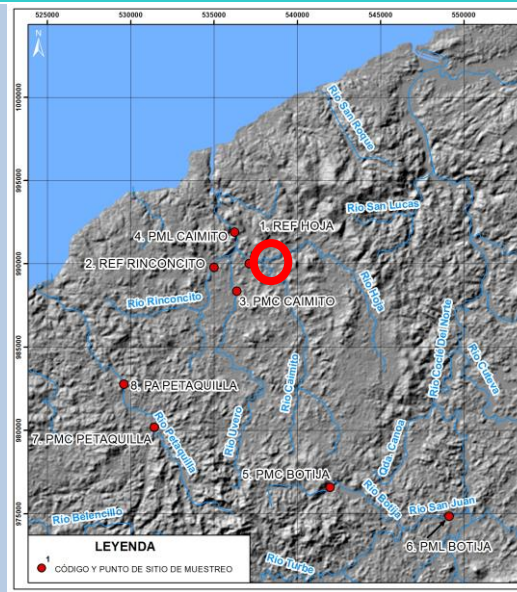


ANEXO 1

FICHAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: REF-HOJA

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: Accesible por potrera desde la margen izquierda. Acceso en helicóptero.



CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: REF-RINCONCITO)

NOMBRE DEL RIO: Rinconcito

LOCALIZACIÓN: Pequeño tributario

TIPO DE SITIO: Referencia

COORDENADAS (DATUM WGS84):

NORTE: 989768

ESTE: 535002

(09900345N, 0534501E)

CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Buena accesibilidad. Presencia de vegetación en las orillas y dominancia grava.

ANCHURA (m): 12,0

PROFUNDIDAD MEDIA (m): 0,5

TIPOS DE MESOHÁBITATS: RA, TR, P Y RM.

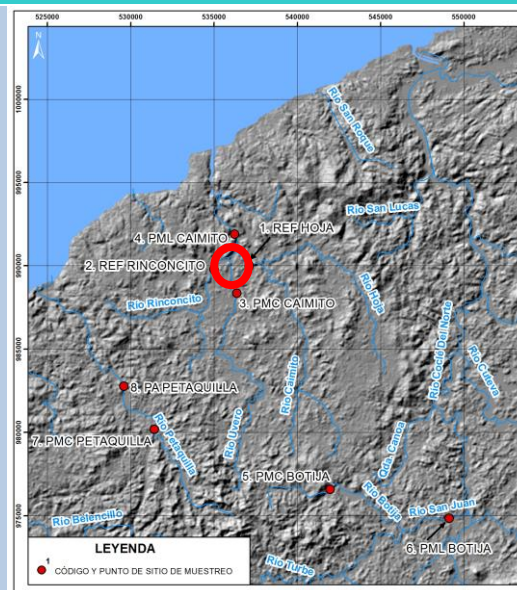
USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I y D)

GRADO DE ALTERACIÓN: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Muy buena

SOMBREADO DEL CAUCE: 60% (I) y 50% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: pequeño tributario no alterado con buenas condiciones de referencia. Accesible por trocha.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PMC-CAIMITO

NOMBRE DEL RIO: Uvero o Del Medio (Caimito alto)

LOCALIZACIÓN: Aguas abajo descarga relaves

TIPO DE SITIO: PMC

COORDENADAS (DATUM WGS84):

NORTE: 988352 ESTE: 536373

(0987316N, 0536211E)

CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Buena accesibilidad. Presencia de vegetación en las orillas y elevada turbiedad.

ANCHURA (m): 16,0

PROFUNDIDAD MEDIA (m): 0,5-1,0

TIPOS DE MESOHÁBITATS: TR y P.

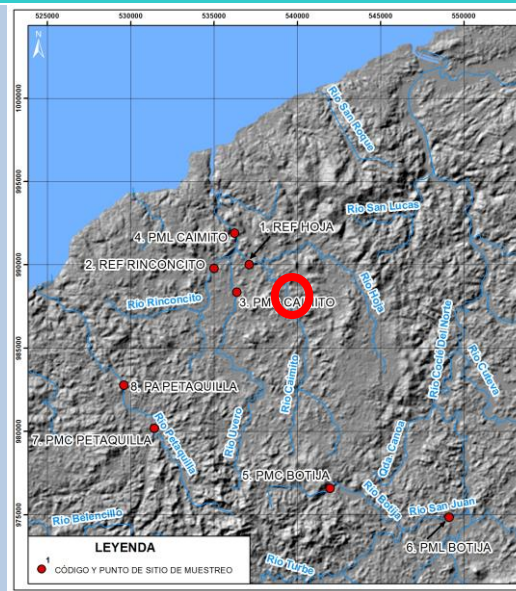
USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I y D)

GRADO DE ALTERACIÓN: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Muy buena

SOMBREADO DEL CAUCE: 60% (I) y 50% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: bajo caudal y turbiedad del agua. Accesible por trocha..





ANEXO 2

CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES



A continuación, se presenta información ecológica y del ciclo de vida de las especies de peces más significativas y que presentaron la mayor distribución en los sitios de muestreo:

1. ***Sicydiu maltum* (Titi)**: Es una especie restringida a riachuelos y ríos tanto en la vertiente Atlántica como Pacífica, entre el mar y 1.180 m. de altura de América Central, desde Costa Rica a Colombia (Lyons, 2005). Habita en aguas templadas entre 20 y 31 °C (Bussing, 1998) y se lo ha encontrado entre otros cursos de agua, en los ríos Cricamola, Cañaveral, Changuinola, Guarumo y Sixaola (STRI: Base de datos Bocas del Toro). Compartiría parte de su hábitat con otra especie del mismo género (*S. adellum*) en zonas de baja altitud (hasta 90 m). *Sicydiu maltum* ha sido registrado por Bussing (1998) sólo para la Vertiente Atlántica de Costa Rica y según éste mismo autor, la cita de *S. antillarum* hecha por Brockmann (1965), que "...habita toda la Vertiente Atlántica de Panamá y que originalmente fue descrito de Barbados" correspondería a *S. altum* (Bussing, 1998).

Para el cumplimiento de su ciclo reproductivo los adultos deben poder realizar migraciones desde los ríos hacia el océano y viceversa, lo cual implica un uso obligado de los distintos biotopos (cauce del río, estuario y océano). Los adultos procrean en los ríos y las larvas migran hacia el océano de forma pasiva. Desde el océano, se produce una nueva migración a las desembocaduras de los ríos hacia el final de su etapa larval o como juveniles.

Los *Sicydium* en general, en su etapa juvenil migran activamente río arriba, desarrollándose progresivamente en su ascenso, alcanzando alturas superiores a los 90 m.s.n.m., para desarrollarse sexualmente, aparearse y poner los huevos, generalmente en nidos cavados bajo los fondos de grava o roca donde los adhiere y deja al cuidado del macho. Las restricciones biológicas que generan esta obligación son de carácter trófico: las larvas se alimentan únicamente de plancton, el cual abunda en aguas marinas, mientras que los juveniles y adultos ramonean (algas y organismos incrustantes) sobre las rocas del fondo del río, presentando características bentónicas.

Esta especie presentaría el ciclo de vida característica del género, con la presencia de cinco etapas netamente diferenciadas: huevo (río), larva (migra al océano), post-larva (estuarial; cambio de hábito alimenticio), metamorfosis a juvenil (migración aguas arriba) y adulto. Los machos de *Sicydium* defienden el territorio reproductivo, donde las hembras depositan huevos adhesivos y bentónicos, generalmente debajo de una roca o en grietas del fondo rocoso. Para las especies anfídromas como *S. altum* se describen dos tipos de migraciones: la primera ocurre a partir de la eclosión del huevo, donde las larvas deben dirigirse al mar en forma obligada, ya que las hembras adultas no migran (Fièvet et al. 2001). Esta migración es del tipo pasiva donde las larvas nacidas aguas arriba del cauce son arrastradas por la corriente hacia la desembocadura del río o riachuelo (McDowall, 1997).



La segunda migración corresponde a la que realizan postlarvas o juveniles de las especies anfídromas para ingresar al agua dulce y remontar los ríos usualmente en luna llena, período en el cual no se alimentan y cambian su morfología de larvas planctófagos a bentófagos. Esta migración también es obligatoria. Los adultos de las especies del género *Sicydium* habitan principalmente las zonas con aguas de flujo rápido a moderado o pozos dentro de los ríos siempre y cuando el agua sea bien oxigenada y de flujo moderado.

Los aspectos críticos del ciclo de vida que pueden significar una dificultad para que la especie prospere están íntimamente relacionados con el éxito de los procesos migratorios, considerando la migración pasiva de las larvas aguas abajo de carácter meramente trófico, y la migración ascendente de los juveniles aguas arriba del río, para el crecimiento somático y el alcance de la correspondiente madurez sexual y éxito reproductivo.

Sicydium es un género de peces eurípagos. La alimentación varía de acuerdo a las distintas etapas del ciclo de vida. Las larvas recién eclosionadas no se alimentan, y recién lo hacen una vez que alcanzan el ambiente marino. En la etapa marina llevan una vida asociada al dominio pelágico y se alimentan de plancton. Cuando regresan a los estuarios dejan la vida pelágica asentándose sobre el fondo y en este punto se produce un cambio en su hábito alimenticio, pasando a alimentarse de limo, diatomeas y algas filamentosas que raspan del sustrato (Lyons, 2005).

Los aspectos críticos de su alimentación que pueden significar una dificultad para que la especie prospere se refieren principalmente a la abundancia de oferta alimentaria que puedan tener aguas arriba, específicamente para la fase larvaria que es de hábitos planctófagos. Varios factores han sido mencionados como consecuencias negativas del disturbio causado por el represamiento en ríos tropicales que drenan en el Caribe: presencia de peces predadores introducidos, hábitats inapropiados, baja disolución de oxígeno y la pérdida del estímulo del caudal de los tributarios

Esta especie está íntimamente asociada a los fondos rocosos de los ríos, que le permiten no solo obtener el alimento y reparo, sino también realizar su migración por el lecho pedregoso del río a través del uso de su órgano adhesivo –el cual le permite fijarse al sustrato con corrientes muy rápidas– para desplazarse aguas arriba.

2. **Gobiomorus dormitor (Guabina)**: Fue la tercera especie más abundante (n= 41; biomasa total de 2050.9 g), fue colectada en las siete estaciones. Presentó un rango de talla de 3 a 25.5 cm de longitud total ($\bar{x}$ = 14.25 cm) y 10.8 a 92.1 g en peso ($\bar{x}$ = 51.45 g).

Se encuentra en los ríos y arroyos de baja a moderada velocidad de corriente, desde el nivel del mar y hasta los 60 m de altura en los ríos, a temperaturas de agua de aproximadamente 22-29°C (Bussing, 1998). Bussing (1998) informó que se trata de peces bentónicos carnívoros que utiliza movimientos lentos y la coloración críptica para capturar crustáceos y peces. Kramer y Bryant (1995) informaron de que su dieta consistía de algunos invertebrados acuáticos y terrestres. Una longitud máxima de 320 mm fue reportado por Bussing (1998).



Es una especie catádroma, pasa la mayor parte de su vida en ríos de agua dulce, pero el desove lo realiza en zonas de estuarios o en el océano. Winemiller y Ponwith (1998) informaron de que, en Costa Rica, *G. dormitor* migra a las desembocaduras de los ríos para desovar durante la estación seca de la primavera. Los juveniles migran río arriba sobre todo durante la temporada de lluvias de verano, como parte de una migración masiva con las larvas y juveniles de otros peces y camarones diádromos. (Bacheler et al., 2004) indican que las especies pueden completar su ciclo de vida en agua dulce.

3. **Agonostomus monticola (Lisa):** Fue la segunda especie más abundante ($n= 73$; biomasa total de 723.36 g), fue colectada en las seis de las siete estaciones. Presentó un rango de talla de 3.5 a 18.5 cm de longitud total ($\bar{x}= 11$ cm) y 1.2 a 28.62 g en peso ($\bar{x}= 14.91$ g).

Es la única especie de lisa que vive su vida de adulto enteramente en agua dulce. Se encuentra en ríos y riachuelos desde el nivel del mar hasta los 650 m. de altura en ríos (Bussing, 1998) y hasta 1.500 m. en pequeños tributarios (Cruz, 1987).

Los adultos y subadultos viven en ríos y arroyos de agua dulce la mayor parte de sus vidas moviéndose entre la desembocadura y las nacientes, sin ingresar al mar. El proceso de reproducción se realiza en la desembocadura del río en el mar (Cruz, 1987; Harrison, 2002; Díaz, 2007). Este suceso se desarrolla de forma anual y guarda relación con el período de lluvia mayor, en donde los individuos maduros migran hacia estas zonas bajas a desovar.

Los huevos eclosionan y las larvas son arrastrados al mar donde cumplen una etapa de vida pelágica, donde se alimentan de plancton. Larvas de *A. monticola* han sido colectadas en mar abierto a distancias fuera de costa de hasta cientos de millas (Rohde, 1980). Cuando las larvas se desarrollan, los prejuveniles vuelven a ingresar a la desembocadura de los ríos en condiciones ligeramente salinas a mesohalinas hasta que inician el ascenso aguas arriba.

Estos desplazamientos para desovar cerca del mar y la etapa marina son de carácter trófico ya que las larvas se alimentan de plancton, el cual es muy abundante en aguas marinas. Los juveniles y adultos viven en agua dulce donde predan sobre todo tipo de organismos acuáticos. Es una especie considerada catádroma (aunque también se la cita como anfídroma; McLarney & Mafla, 2007). Es ovípara, que libera huevos pelágicos no adhesivos (Breder & Rosen, 1966). Los huevos son liberados en el medio marino usualmente durante la estación lluviosa (Aiken, 1998).

Las larvas pelágicas se desarrollan durante un tiempo en alta mar, Los pre-juveniles en un primer momento se encuentran en la zona de desembocadura, como sitio de cría y alimentación, donde se han registrado colectas de individuos no mayores a 25 mm.



ANEXO 3

LISTADO FOTOGRÁFICO DE ESPECIES DE MACROINVERTEBRADOS

Macroinvertebrados en ecosistemas acuáticos en puntos de monitoreo de Minera Panamá

Hidropsychidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla PMC-Botijas	
Elmidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla PMC-Petaquilla PMC-Botijas San Juan PMC-Botijas	

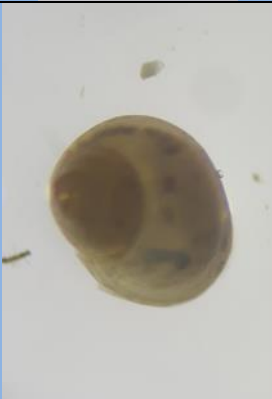
Philopotamidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla PMC-Petaquilla PMC-Botijas San Juan PMC-Botijas			
Dytiscidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla			
Psephenidae REF-Rinconcito			

Simuliidae			
REF-Rinconcito			
Baetidae			
REF-Rinconcito			

Perlidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla, PMC-Botijas		
Libellulidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla,		

Thiaridae REF-Rinconcito	
<i>Potimirin glabra</i> REF-Rinconcito PML-Petaquilla	
Macrobrachium acanthurus	

Libellulidae PMC-Petaquilla PML-Petaquilla	
Hydracarina PMC-Petaquilla PMC-Botijas- San Juan	
Coenagrionidae PML-Petaquilla PMC-Petaquilla PMC-Botijas San Juan PMC-Botijas	

Naucoridae PMC-Petaquilla PMC-Botijas			
Limnephilidae REF-Rinconcito PMC-Petaquilla			
<i>Pomacea zeteki</i> PMC-Petaquilla PML-Petaquilla			

<i>Macrobrachium acanthurus</i> REF-Rinconcito, PMC-Petaquilla, PMC-Botijas-San Juan			
Libellulidae Subfamilia: Leucorrhiniinae PMC-Petaquilla			
<i>Brachyraphis cascajalensis</i> PMC-Petaquilla PML-Petaquilla			

Crambidae PML-Petaquilla	
Tipulidae PMC-Botijas	

Macrobrachium carcinus PML-Botijas-San Juan	
Atydae PML-Petaquilla	



ANEXO 4

INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO (AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA)

INFORME DE ENSAYO Nº 01150121

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 20/10/20
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 20/10/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 15/11/20
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua continental de diferentes ríos en Minera Panamá	

CÓDIGO MUESTRA	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	ALCAL. (mg/l CaCO ₃)	SS* (mg/L)	NH ₄ (mg/L N)	NO ₃ (mg/L NO ₃)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO ₄ * (mg/L PO ₄)	P _{total} (mg/L)	COD (mg/L)
REF-Rinconcito	18	15	1,2	0,04	1,2	0,55	0,15	0,04	6,8
PMC-Caimito	30	20	1,1	0,03	1,5	0,40	0,10	0,03	7,2
PML-Caimito	35	22	12,6	0,01	2,4	0,55	0,28	0,09	10,1
PMC-Botija	20	12	15,3	0,01	2,1	0,56	0,22	0,07	12,6
PML-Botija	25	26	1,0	0,01	1,6	0,30	0,15	0,04	4,2

NOTA: Se ha determinado el fósforo como ortofosfato (PO₄³⁻) y convertido a fósforo total (P_t).

Fecha Informe de Ensayo: 15 de enero de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 01200521

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 27/03/21
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 28/03/21	FECHA FIN ANÁLISIS: 19/05/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua continental de diferentes ríos en Minera Panamá	

CÓDIGO MUESTRA	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	ALCAL. (mg/l CaCO ₃)	SS* (mg/L)	NH ₄ (mg/L N)	NO ₃ (mg/L NO ₃)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO ₄ * (mg/L PO ₄)	P _{total} (mg/L)	COD (mg/L)
PMC-Petaquilla	33	25	2,3	0,01	2,1	0,34	0,20	0,05	4,8
PML-Petaquilla	40	31	10,2	0,01	3,4	0,36	0,21	0,06	4,9
REF-Hoja	35	33	1,9	0,01	1,2	0,20	0,10	0,02	2,8

NOTA: Se ha determinado el fósforo como ortofosfato (PO₄³⁻) y convertido a fósforo total (P_t).

Fecha Informe de Ensayo: 20 de mayo de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 02150121

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 20/10/20
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 15/12/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 14/01/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz agua de diferentes ríos en Minera Panamá. Metales disueltos.	

PARÁMETRO (Metales disueltos)	UNIDAD	REF-RINCONCITO	PMC-CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA
Aluminio	ug/L	223	340	215	335	185
Antimonio	ug/L	0,20	0,82	0,40	0,32	0,25
Arsénico	ug/L	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Bario	ug/L	22,1	40,2	15,9	20,1	10,2
Berilio	ug/L	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03
Cinc	ug/L	4,1	4,8	8,6	6,1	5,5
Cobalto	ug/L	0,50	0,75	0,40	0,45	0,32
Cobre	ug/L	20,5	25,6	15,9	29,1	28,2
Cromo	ug/L	4,5	2,7	2,8	6,7	1,3
Hierro	ug/L	340,0	360,1	450,2	410,1	290,5
Manganeso	ug/L	15,1	90,2	100,1	85,3	40,2
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	2,1	2,20	1,10	1,12	1,10
Plata	ug/L	0,07	0,08	0,09	1,1	0,02
Plomo	ug/L	0,01	0,33	0,35	0,51	0,22
Selenio	ug/L	<0,1	1,2	0,20	0,35	0,10
Vanadio	ug/L	1,1	3,6	0,2	0,8	0,1
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 15 de enero de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá o en el laboratorio subcontratado que cumple con la misma norma. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 02200521

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 27/03/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 28/03/21	FECHA FIN ANÁLISIS: 19/05/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz agua de diferentes ríos en Minera Panamá. Metales disueltos.	

PARÁMETRO (Metales disueltos)	UNIDAD	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	ug/L	390	375	240
Antimonio	ug/L	0,34	0,40	0,42
Arsénico	ug/L	0,01	0,01	0,01
Bario	ug/L	27,2	25,6	15,7
Berilio	ug/L	0,01	0,01	0,01
Boro	ug/L	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,03	0,02	0,01
Cinc	ug/L	2,8	3,4	8,2
Cobalto	ug/L	0,60	0,65	0,22
Cobre	ug/L	21,4	20,1	12,1
Cromo	ug/L	1,7	1,9	2,8
Hierro	ug/L	390,1	385,0	360,2
Manganeso	ug/L	21,2	30,4	23,5
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<2	2,1	1,2
Plata	ug/L	0,05	0,06	0,02
Plomo	ug/L	0,01	0,03	0,04
Selenio	ug/L	<0,1	<0,1	0,2
Vanadio	ug/L	1,8	3,1	1,2
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 20 de mayo de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá o en el laboratorio subcontratado que cumple con la misma norma. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 03150121

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 20/10/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 15/12/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 14/01/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz agua de diferentes ríos en Minera Panamá, Metales pesados totales,	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	REF-RINCONCITO	PMC-CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA
Aluminio	ug/L	2400	4600	2300	1580	1650
Antimonio	ug/L	3,5	2,8	2,9	3,2	2,1
Arsénico	ug/L	6,1	7,8	20,1	7,8	6,9
Bario	ug/L	20,1	45,7	70,7	88,2	80,5
Berilio	ug/L	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,02	0,09	0,12	0,15	0,04
Cinc	ug/L	22,9	33,1	20,1	31,7	80,2
Cobalto	ug/L	2,3	2,1	1,9	0,87	1,6
Cobre	ug/L	24,5	37,5	14,1	34,8	15,4
Cromo	ug/L	3,8	4,6	1,1	1,3	1,7
Hierro	ug/L	780,2	1790,4	1650,0	1980,3	1120,4
Manganeso	ug/L	80,1	340,2	128,3	90,5	85,3
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	7,1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1
Plata	ug/L	3,1	3,8	2,9	2,6	3,4
Plomo	ug/L	1,5	1,1	1,9	1,2	2,3
Selenio	ug/L	4,5	3,0	2,6	2,2	4,5
Vanadio	ug/L	3,9	7,6	5,6	4,3	5,0
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente,

Fecha Informe de Ensayo: 15 de enero de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá o en su laboratorio subcontratado. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 03200521

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 27/03/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 28/03/21	FECHA FIN ANÁLISIS: 19/05/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz agua de diferentes ríos en Minera Panamá, Metales pesados totales,	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	ug/L	2150	2300	1550
Antimonio	ug/L	3,4	3,9	4,1
Arsénico	ug/L	10,9	9,8	10,1
Bario	ug/L	60,2	80,1	75,4
Berilio	ug/L	0,04	0,03	0,04
Boro	ug/L	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,22	0,30	0,20
Cinc	ug/L	22,4	30,1	30,6
Cobalto	ug/L	2,3	1,8	2,5
Cobre	ug/L	20,1	30,8	18,2
Cromo	ug/L	1,9	2,1	1,8
Hierro	ug/L	1780,0	1880,1	1200,2
Manganeso	ug/L	70,4	90,1	80,2
Molibdeno	ug/L	<1	1,1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1
Plata	ug/L	3,2	2,9	3,1
Plomo	ug/L	2,0	1,9	2,4
Selenio	ug/L	2,9	3,1	2,6
Vanadio	ug/L	5,1	3,2	4,1
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente,

Fecha Informe de Ensayo: 20 de mayo de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá o en su laboratorio subcontratado. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 06150121

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 20/10/20
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 15/12/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 14/01/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz camarones de diferentes ríos en Minera Panamá,	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	REF-RINCONCITO	PMC-CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA
Aluminio	mg/Kg	210,1	345,5	350,2	330,1	280,6
Arsénico	mg/Kg	0,59	1,10	0,90	0,76	1,20
Bario	mg/Kg	360,8	220,2	340,4	260,4	155,3
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	0,89	0,81	0,90	0,78	0,61
Cinc	mg/Kg	105,1	140,3	90,8	85,4	120,1
Cobalto	mg/Kg	2,30	1,22	1,44	1,87	2,10
Cobre	mg/Kg	345,0	240,1	266,2	244,1	250,3
Cromo	mg/Kg	0,90	1,15	0,55	0,80	0,33
Hierro	mg/Kg	520,2	430,3	640,4	710,6	230,1
Manganeso	mg/Kg	170,1	144,3	179,0	156,5	150,3
Molibdeno	mg/Kg	0,72	0,37	0,89	0,55	0,30
Níquel	mg/Kg	1,9	2,1	1,0	1,9	2,0
Plomo	mg/Kg	0,10	0,25	0,14	0,33	0,27
Selenio	mg/Kg	2,1	2,4	1,9	2,5	1,1
Vanadio	mg/Kg	1,1	2,3	2,1	2,0	1,6
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente, Referido a materia seca,

Fecha Informe de Ensayo: 15 de enero 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá y de su laboratorio subcontratado acreditado. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 06200521

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 27/03/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 28/03/21	FECHA FIN ANÁLISIS: 19/05/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz camarones de diferentes ríos en Minera Panamá,	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	mg/Kg	320,2	340,1	260,1
Arsénico	mg/Kg	0,50	0,65	0,60
Bario	mg/Kg	210,4	215,1	210,8
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	0,40	0,50	0,80
Cinc	mg/Kg	80,9	90,3	60,8
Cobalto	mg/Kg	3,4	2,8	1,1
Cobre	mg/Kg	210,0	230,2	220,3
Cromo	mg/Kg	0,65	0,80	0,50
Hierro	mg/Kg	230,1	245,6	360,6
Manganeso	mg/Kg	150,1	155,2	150,1
Molibdeno	mg/Kg	0,46	0,50	0,80
Níquel	mg/Kg	1,1	1,9	1,8
Plomo	mg/Kg	0,20	0,20	0,10
Selenio	mg/Kg	2,3	2,1	1,2
Vanadio	mg/Kg	1,8	1,5	2,6
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente, Referido a materia seca,

Fecha Informe de Ensayo: 20 de mayo de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá y de su laboratorio subcontratado acreditado. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 05150121

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 20/10/20
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 15/12/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 14/01/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz peces de diferentes ríos en Minera Panamá.	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	REF- RINCONCITO	PMC- CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA
Aluminio	mg/Kg	56,7	40,3	35,7	50,1	45,2
Arsénico	mg/Kg	0,30	0,41	0,37	0,51	0,47
Bario	mg/Kg	40,2	23,6	15,4	10,3	30,1
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	1,9	1,1	1,6	1,8	0,90
Cinc	mg/Kg	54,2	76,1	35,8	50,3	48,7
Cobalto	mg/Kg	0,33	0,25	0,26	0,15	0,34
Cobre	mg/Kg	2,3	5,8	9,6	5,1	4,1
Cromo	mg/Kg	0,48	0,31	0,24	0,20	0,66
Hierro	mg/Kg	70,2	57,1	48,2	41,3	78,2
Manganeso	mg/Kg	15,4	8,7	10,1	21,3	7,9
Molibdeno	mg/Kg	0,23	0,28	0,30	0,15	0,21
Níquel	mg/Kg	0,70	0,48	0,32	0,17	0,15
Plomo	mg/Kg	0,22	0,15	0,09	0,15	0,21
Selenio	mg/Kg	2,40	0,14	0,47	0,55	0,79
Vanadio	mg/Kg	0,20	0,18	0,31	0,24	0,38
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente. Referido a materia seca del pez.

Fecha Informe de Ensayo: 15 de enero 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá y de su laboratorio subcontratado acreditado. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 05200521

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 27/03/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 28/03/21	FECHA FIN ANÁLISIS: 19/05/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz peces de diferentes ríos en Minera Panamá.	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	mg/Kg	50,1	51,6	30,1
Arsénico	mg/Kg	0,22	0,33	0,24
Bario	mg/Kg	30,7	27,8	20,2
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	1,1	1,3	1,0
Cinc	mg/Kg	40,5	50,1	30,2
Cobalto	mg/Kg	0,30	0,34	0,20
Cobre	mg/Kg	1,8	2,5	1,3
Cromo	mg/Kg	0,25	0,30	0,15
Hierro	mg/Kg	30,2	40,7	40,2
Manganeso	mg/Kg	10,1	10,9	10,7
Molibdeno	mg/Kg	0,15	0,20	0,31
Níquel	mg/Kg	0,56	0,56	0,24
Plomo	mg/Kg	0,37	0,29	0,1
Selenio	mg/Kg	3,1	2,8	0,40
Vanadio	mg/Kg	0,30	0,24	0,10
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente. Referido a materia seca del pez.

Fecha Informe de Ensayo: 20 de mayo de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 04150121

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 20/10/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 15/12/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 14/01/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz sedimento de diferentes ríos en Minera Panamá.	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	REF- RINCONCITO	PMC- CAIMITO	PML-CAIMITO	PMC-BOTIJA	PML-BOTIJA
Aluminio	mg/Kg	16250	15460	14500	17340	21355
Antimonio	mg/Kg	0,33	0,20	0,15	0,27	0,17
Arsénico	mg/Kg	0,23	0,65	0,45	0,70	0,90
Bario	mg/Kg	55,4	28,9	25,4	60,9	79,1
Berilio	mg/Kg	0,40	0,38	0,20	0,41	0,18
Boro	mg/Kg	170,2	180,3	210,1	90,4	88,2
Cadmio	mg/Kg	0,06	0,02	0,07	0,02	0,10
Cinc	mg/Kg	31,5	56,7	44,3	78,9	120,3
Cobalto	mg/Kg	12,4	10,1	10,9	15,4	22,1
Cobre	mg/Kg	60,1	88,7	77,6	134,7	122,1
Cromo	mg/Kg	20,7	42,8	34,5	70,6	57,2
Hierro	mg/Kg	25600,1	33690,1	56470,5	35600,4	44670,1
Manganeso	mg/Kg	760,2	870,1	789,6	850,1	970,6
Molibdeno	mg/Kg	0,20	0,56	1,15	0,50	1,7
Níquel	mg/Kg	2,5	2,1	4,1	10,2	15,8
Plata	mg/Kg	0,45	0,20	0,23	0,21	0,34
Plomo	mg/Kg	5,6	3,2	3,9	5,7	4,6
Selenio	mg/Kg	20,1	34,7	15,6	12,1	30,0
Vanadio	mg/Kg	180,1	190,1	240,7	170,4	220,7
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente, Referido a materia seca (m.s.m.).

Fecha Informe de Ensayo: 15 de enero de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá y de su laboratorio subcontratista acreditado. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 04200521

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas, Torre A, Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fqml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 27/03/21
TOMADA POR: Licdo, Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 28/03/20	FECHA FIN ANÁLISIS: 19/05/21
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz sedimento de diferentes ríos en Minera Panamá.	

PARÁMETRO (metales pesados totales)	UNIDAD	PMC- PETAQUILLA	PML- PETAQUILLA	REF- HOJA
Aluminio	mg/Kg	15600	15450	10700
Antimonio	mg/Kg	0,10	0,20	0,15
Arsénico	mg/Kg	0,40	0,48	0,23
Bario	mg/Kg	19,1	20,3	71,2
Berilio	mg/Kg	0,28	0,33	0,10
Boro	mg/Kg	120,1	89,2	70,2
Cadmio	mg/Kg	0,05	0,04	0,02
Cinc	mg/Kg	60,2	70,1	55,3
Cobalto	mg/Kg	20,2	10,1	10,5
Cobre	mg/Kg	156,1	160,2	56,2
Cromo	mg/Kg	24,6	34,5	23,4
Hierro	mg/Kg	50450,1	51230,2	40340,1
Manganeso	mg/Kg	860,1	840,2	670,9
Molibdeno	mg/Kg	2,5	2,3	1,2
Níquel	mg/Kg	10,4	10,7	14,1
Plata	mg/Kg	0,25	0,20	0,30
Plomo	mg/Kg	2,1	4,1	2,7
Selenio	mg/Kg	10,1	11,2	32,1
Vanadio	mg/Kg	220,1	230,3	190,3
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente, Referido a materia seca (m.s.m.).

Fecha Informe de Ensayo: 20 de mayo de 2021



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá y de su laboratorio subcontratista acreditado. Este Informe consta de 1 página.